55. P.M. Champion, E. Münk, P.G. Debrunner, P.F. Hollenberger e L.P. Hager, Biochemistry **12**, 426 (1971)

56. J.M. Zgliazynski e T. Stelmazynsk, Env. J. Biochem. **45**, 305 (1974)

57. J.M. Zgliazynski e T. Stelmazynsk, Env. J. Biochem. **56**, 157 (1975)

58. J.M. Zgliazynski, T. Stelmazynsk, J. Donànski e W. Ostrowski, Biochem. Biophys. Acta **235**, 419 (1971)

59. H. Yamada e I. Iamasaki, Arch. Biochem. Biophys. **165**, 278 (1974) e referências.

60. R.J.P. Williams in "New Trends in Bioinorganic Chemistry", ed. R.J.P. Williams e J.J.R.F. da Silva, Academic Press, Londres, 1978, pg. 253.

61. J.A. Badway e M.L. Karnovsky: Ann. Rev. Biochem. **49**, 605-726 (1980) e referências indicadas neste artigo.

62. M.J. Cline, "The white cell", Harvard Univ. Press, 1975

63. S.J. Klebanoff **in** "Mononuclear fagocytes - functional aspects", ed. R. Van Furth, Martinus Nijhoff Med. Div., The Hague 1980.

64. D.J. Cameron e W.H. Churchill Jr., J. Clin. Invest. **63**, 977 (1984).

65. R.J.P. Williams e J.J.R. Fraústo da Silva **in** "News Trends in Bioinorganic Chemistry", ed. R.J.P. Williams e J.J.R. Fraústo da Silva, Academic Press, Londres 1978, pgs. 121-171.

66. J.J.R. Fraústo da Silva, Introdução à Química da Vida, 2.ª edição, ed. Univ. Nova de Lisboa, Lisboa 1985.

67. N.D. Chasteen: Structure & Bonding, **53**, 105-138 (1983) e referências indicadas neste artigo.

68. G. Bemski, J. Felcman, I. Moura, J.J.R. Fraústo da Silva, M. Cândida T.A. Vaz e L.F. Vilas-Boas: Rev. Port. Quím. **27**, 418 (1985)

69. W. Mertz: Chemica Scripta **21**, 145 (1983)

70. S.J. Haylock, P.D. Buckley e L.F. Blackwell: J. Inorg. Biochem. **19**, 105 (1983)

71. R.J.P. Williams, Pure and Applied Chem. **55**, 35 (1983)

72. R.J.P. Williams, Eur. J. Biochem. **150**, 231 (1985)

73. H. Gaffson: Persp. Biol. Med. **3**, 163 (1960)

74. E. Frieden: Chem. Eng. News, March **25**, pg. 42 (1974)

75. G.M. Cheniae e I.F. Martin: Biochem. Biophys. Acta **197**, 219 (1979)

76. T. Kuwabara e N. Murata **in** "The oxygen-evolving system of photosynthesis", ed. Y. Inoue et. al., Academic Press Japan, Tóquio 1983, pgs. 223-228.

77. D.F. Ghanotakis, G.T. Babcock e C.F. Yocum: Biochem. Biophys. Acta **765**, 388 (1984).

78. Diversos autores, Rev. Port. Química **27**, 63-75 (1985) e referências indicadas nos vários artigos.

A ESTABILIDADE ESTRUTURAL E O COMPORTAMENTO POS-ENCURVADURA

A.J. REIS (*)

RESUMO

Apresenta-se uma síntese dos conceitos básicos da Teoria da Estabilidade de Estruturas, dando-se especial relevo aos aspectos relacionados com o Comportamento de Pós-Encurvadura.

Referem-se algumas aplicações da análise do comportamento pós-encurvadura no dimensionamento de estruturas metálicas laminares-placas e cascas.

ABSTRACT

The basic concepts of the Theory of Structural Stability are presented namely in what concerns the Postbuckling Behaviour of Structures.

Aplications of the postbuckling analysis in the design of thin walled plate and shell structures, are presented.

1. INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento da Teoria da Estabilidade de Estruturas nas últimas duas décadas, deve-se sobretudo ao interesse prático motivado pelos chamados problemas de pós-encurvadura em especial nas estruturas laminares — placas e cascas. Efectivamente, conforme se ilustra na Fig. 1, as barras, placas e cascas possuem em fase elástica comportamentos pós-encurvadura (pós-crítico) consideravelmente distintos. O problema clássico da coluna de Euler — barra biarticulada à compressão axial, é um exemplo dum comportamento pós-crítico aproximadamenete "neutro". Ao atingir a carga crítica de Euler P_{cr}, a coluna apresenta deslocamentos transversais ao seu eixo (W), sendo a configuração rectilínea da coluna uma configuração estável para $P>P_{cr}$. A carga aumenta ligeiramente com o aumento dos deslocamentos W para $P>P_{cr}$; a trajectória de pós-encurvadura é representada na vizinhança de P_{cr} por uma parábola de 2.º grau intersectando a trajectória fundamental (W=O) no ponto de bifurcação de equilíbrio ($P=P_{cr}$, W=O).

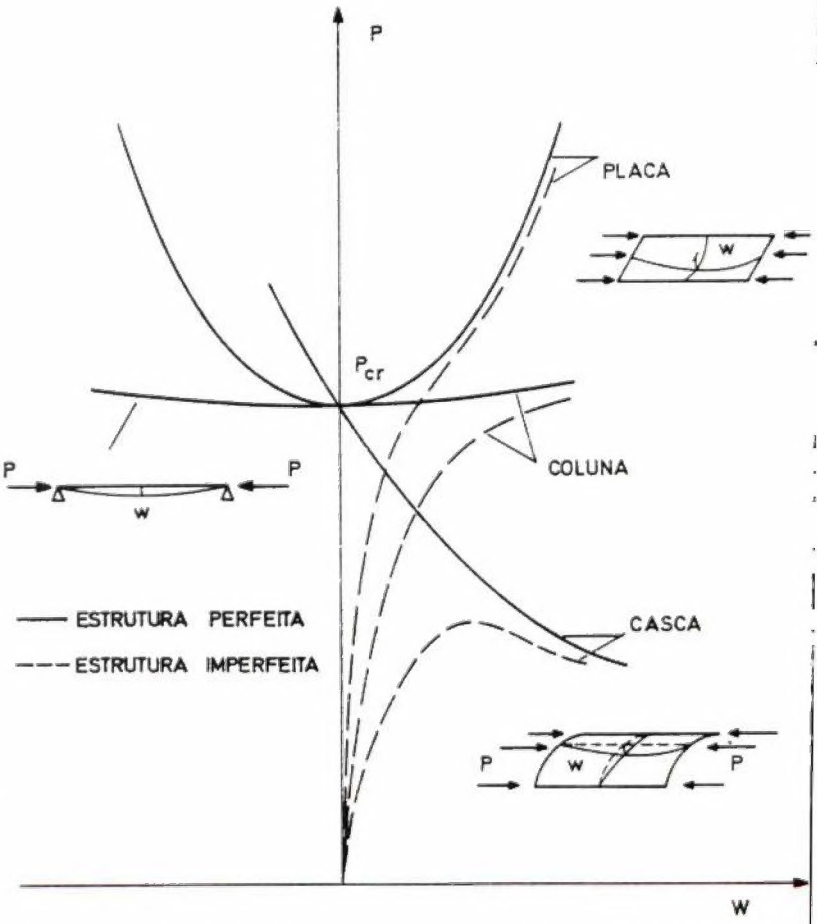


FIG. 1 - COMPORTAMENTO ELÁSTICO DE PÓS-ENCURVADURA DE BARRAS E CASCAS.

(*) Prof. Catedrático do Dep. de Eng. Civil do IST.

Original recebido para publicação em 31/10/85

Ao contrário do que sucede na coluna, em que a trajectória de pós-encurvadura é quase paralela ao eixo W, na placa a curvatura é francamente positiva, o que significa que a capacidade de carga pode ser substancialmente superior a P_{cr}. A placa possui um comportamento pós-crítico francamente estável. Este aspecto é hoje em dia muito aproveitado no projecto das estruturas metálicas de parede fina, as quais são dimensionadas para funcionarem na chamada fase de pós-encurvadura local.

Em oposição com o que sucede nas placas à compressão, as cascas cilíndricas comprimidas têm um comportamento pós-crítico muito instável, o que é ilustrado no diagrama carga-deslocamento da Fig. 1, por uma trajectória de equilíbrio de pós-encurvadura com um ramo descendente. A existência de estados de equilíbrio de pós-encurvadura correspondentes a cargas muito inferiores à carga crítica da casca, faz com que as cascas reais possuam cargas de colapso que frequentemente não atingem 30% da respectiva carga crítica. Este aspecto pode ser compreendido observando a trajectória de equilíbrio na Fig. 1 duma casca real (imperfeita) que possui imperfeições geométricas, isto é desvios iniciais de geometria relativamente à configuração inicial. Note-se que no caso da coluna ou da placa, a presença de impefeições geométricas não dá lugar ao aparecimento dum ponto limite ao longo da trajectória de equilíbrio, isto é um ponto onde se atinge a carga máxima da estrutura em regime elástico. É evidente que em qualquer dos casos — barra, placa ou casca, o tipo de comportamento bifurcacional exibido pelas estruturas ideais (perfeitas), caracterizado por uma descontinuidade à carga crítica definida pela intersecção de duas trajectórias de equilíbrio — a trajectória fundamental W=O e a trajectória de pós-encurvadura (P=P(w), é transformado num comportamento contínuo nas estruturas reais (imperfeitas). As colunas e as placas atingem a sua carga do colapso após se iniciar a cedência plástica ao longo da trajectória de equilíbrio da estrutura imperfeita.

O objectivo do presente artigo é apresentar uma síntese de alguns dos aspectos fundamentais da moderna teoria da estabilidade de estruturas, em especial no que se refere ao comportamento de pós-encurvadura., Referem-se ainda algumas aplicações práticas dos estudos de pós-encurvadura no dimensionamento de estruturas metálicas.

2. CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE

A análise de fenómenos de instabilidade nas estruturas é feita com base em critérios dinâmicos ou estáticos, estes últimos utilizáveis apenas para os sistemas conservativos. Nas estruturas em regime elástico linear desde que as forças actuantes sejam conservativas, isto é derivem dum potencial, os critérios estáticos conduzem aos mesmos resultados dos critérios dinâmicos.

Segundo os critérios dinâmicos de estabilidade, estuda-se o comportamento dinâmico do sistema em torno duma configuração de equilíbrio. Básicamente pode dizer-se que a um certo nível de carga "perturba-se" a estrutura e "observam-se" as amplitudes de vibração. Se as vibrações permanecem limitadas no tempo, a estrutura está, a esse nível de carga, numa configuração de equilíbrio estável. Se o nível de carga variar a frequência de vibração também varia. Torna-se assim possível obter curvas do tipo das apresentadas na Fig. 2 nas quais se relaciona o nível de carga (λ) com o quadrado das frequências de vibração (ω). No primeiro caso — Fig. 2 (a) a instabilidade ocorre por divergência, quando

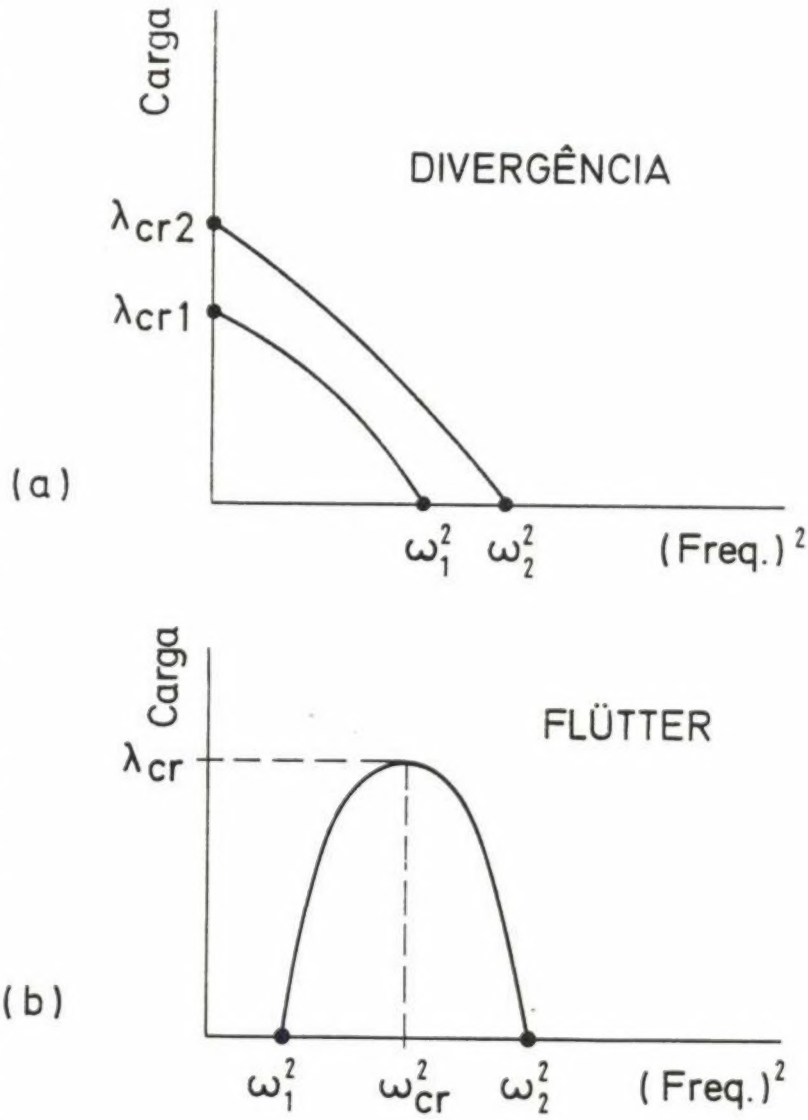


FIG. 2 - CURVAS CARGA λ - FREQUÊNCIA ω, PARA A APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS DINÂMICOS DE ESTABILIDADE.

ω^2 se torna negativo; no 2.º caso a instabilidade ocorre por "flütter". Quer num, quer noutro caso, as frequências correspondentes a $\lambda = o$ são as frequências próprias de vibração.

Nos sistemas que instabilizam por divergência, a instabilidade corresponde a uma vibração de frequência nula que ocorre à carga crítica λ_{cri}. Este é o caso dos sistemas conservativos, os quais instabilizam sempre por divergência, razão pela qual podem ser analizados por critérios estáticos de estabilidade.

O caso mais típico de "flütter" na engenharia civil é o caso da instabilidade aerodinâmica das pontes suspensas, cujo histórico acidente da ponte de Tacoma em 1940, nos EUA, é exemplo. O "flütter" numa ponte suspensa ocorre sob a acção do vento por interacção de vibrações de flexão e torção do tabuleiro.

Note-se que no caso da Fig. 2 (b) — "flütter", a cada nível de carga a estrutura tem duas frequências de vibração as quais se vão aproximando à medida que a carga aumenta. As frequências tornam-se coincidentes à carga crítica (λ_{cr}) correspondente à instabilidade por "flütter".

Considere-se o caso dos sistemas estruturais conservativos — instabilidade por divergência, em particular o caso corrente da instabilidade por bifurcação de equilíbrio como ocorre numa coluna, placa ou casca à compressão (Fig. 1). A estabilidade destes sistemas pode ser analisada pelo critério energético de estabilidade, que a seguir se descreve.

Seja u_f a trajectória de equilíbrio fundamental (Fig. 3) como é o caso da trajectória caracterizada por W=O no exemplo da coluna de Euler (Fig. 1). Se u for um deslocamento "além" da trajectória fundamental, a energia potencial total da estrutura é representada por um funcional $V[u, \lambda]$ em que λ representa o parâmetro de carga — admite-se que as cargas que actuam a estrutura aumentam proporcionalmente a λ. Desenvolvendo V numa série de funcionais homogéneos $V_i(u,\lambda)$ de grau $i=1,2,...$ o primeiro destes funcionais $V_1[u, \lambda]$ anula-se pelo princípio da estacionaridade da energia potencial. Efectivamente $V_1[u, \lambda]$ representa a 1.ª variação da energia potencial em torno da configuração fundamental a qual é uma configuração de equilíbrio. Obtém-se assim o seguinte desenvolvimento

$$V[u,\lambda] = V_2[u,\lambda] + V_3[u,\lambda] + V_4[u,\lambda] + ... \qquad (2.1)$$

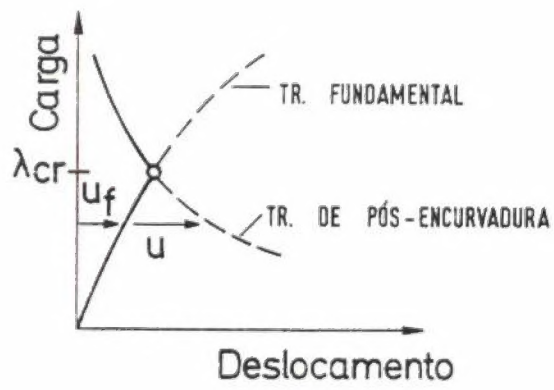
As equações de equlíbrio são obtidas pelo princípio da estacionaridade da energia potencial

$$\delta V[u,\lambda] = 0 \qquad (2.2)$$

Quando se trata de apenas determinar as cargas críticas e modos de instabilidade da estrutura, é suficiente restringir o desenvolvimento (2.1) ao termo quadrático, obtendo-se por substituição em (2.2) uma equação variacional linear. Este é o tipo de análise seguido pela Teoria Clássica da Estabilidade Elástica, por isso também designada por Teoria Linear da Encurvadura. Segundo o critério energético, a estabilidade do equilíbrio na configuração fundamental é garantida por um mínimo relativo de $V[u,\lambda]$, para todas as variações cinemáticamente admissíveis do campo de deslocamentos u em torno dessa configuração.

3. A TEORIA DA PÓS-ENCURVADURA

O interesse pelo comportamento pós-crítico das estruturas teve o seu início por volta de 1930, na sequência de trabalhos pioneiros de Marguerre e Treftz sobre o comportamento pós-crítico de placas e de vonKarman e Tsien (1939) sobre a estabilidade de cascas cilíndricas (Fig. 4). Foi no entanto em 1945 que, com a publicação da tese de Koiter sobre a Estabilidade do Equilíbrio Elástico, se iniciou o campo da chamada Teoria da Pós-Encurvadura. No entanto, este trabalho fundamental permaneceu práticamente desconhecido até à década de 60, em parte por ter sido publicado em holandês. Nas décadas de 60 e 70, a Teoria da Pós-Encurvadura conheceu um espectacular desenvolvimento, no qual é justo realçar duas escolas — o University College de Londres e a Universidade de Harvard nos EUA.



$$V[u,\lambda] = V_1[u,\lambda] + V_2[u,\lambda] + V_3[u,\lambda] + V_4[u,\lambda] + ...$$

$$= 0$$

TEORIA LINEAR DA ENCURVADURA

FIG. 3 - BIFURCAÇÃO DE EQUILÍBRIO - TRAJECTÓRIA FUNDAMENTAL E DE PÓS-ENCURVADURA.

Far-se-á de seguida uma breve síntese de alguns aspectos fundamentais desta teoria.

Admita-se que a trajectória fundamental da estrutura é uma trajectória linear, isto é que pode ser calculada pela análise linear de estruturas. Esta é a situação mais corrente em estruturas reticuladas e laminares (placas e cascas), como é o caso dos sistemas representados na Fig. 1. Para os sistemas com estados lineares de pré-encurvadura, a forma quadrática da energia potencial é linear no parâmetro de carga λ, isto é pode ser decomposta na forma

$$V_2[u,\lambda] = V_2^o[u] + \lambda\, V_2'[u] \qquad (3.1)$$

em que V_2^o e V_2' são funcionais quadráticos de u.

Substituindo em (2.2) V por V_2 dado por (3.1) obtém-se a equação variacional dos modos de instabilidade da estrutura

$$V_{11}^o[u,\delta u] + \lambda\ V_{11}'[u,\delta u] = 0 \qquad (3.2)$$

em que V_{11}^o e V_{11}' representam simbólicamente funcionais bilineares em u e δu. É evidente que a eq. (3.2) possui a solução trivial u = O, que caracteriza a trajectória fundamental. Há no entanto soluções não nulas (u_1, u_2,...) para certos valores do parâmetro de carga (λ_1, λ_2,...) as quais representam os modos de instabilidade da estrutura e as correspondentes cargas críticas de bifurcação de equilíbrio.

Utilizando os métodos clássicos do cálculo das variações e as condições de fronteira cinemáticas, podem obter-se de (3,2) as equações diferenciais dos modos de instabilidade e as correspondentes condições de fronteira estáticas (naturais). A análise linear de estabilidade conduz portanto a um problema linear de valores próprios dum sistema contínuo.

Admita-se resolvido o problema acima referido e sejam (u_1, λ_1), [u_2, λ_2], ... as soluções de (3.2). Estes modos são ortogonais no sentido de

$$V_{11}'[u_k, u_l] = o \quad \text{com } k \neq l = 1,2,... \qquad (3.3)$$

e podem ser normalizados sob a condição

$$V_2'[u_k] = -1 \text{ com } k = 1,2,... \qquad (3,4)$$

Restrinja-se a análise do comportamento pós-crítico à vizinhança da primeira carga crítica da estrutura. Pode mostrar-se [1,2] que no domínio inicial de pós-encurvadura o campo de deslocamentos pode ser escrito em termos do 1.º modo de instabilidade u_1 na forma

$$u \simeq q\, u_1 + q^2\, v_o \qquad (3.5)$$

em que $\underline{q}$ é um parâmetro de amplitude dos deslocamentos e $\underline{v_o}$ o chamado "campo residual" que pode ser determinado com base numa equação variacional linear não homogénea em que no 2.º membro intervem o modo de instabilidade u_1.

Com base em (3.5) o sistema contínuo fica reduzido a um sistema discreto com um único grau de liberdade q. Com o modo u_1 normalizado por (3.4), a **função** energia potencial total do sistema discretizado é dada por [3]

$$V(q,\lambda) \simeq (1 - \frac{\lambda}{\lambda_{cr}})\, q^2 + \tfrac{2}{3}\, a\, q^3 + \tfrac{1}{2}\, b\, q^4 \qquad (3.6)$$

a qual é obtida por introdução de (3.5) em (2.1). Na eq. (3.6) $\underline{a}$ e $\underline{b}$ são constantes e os coeficientes 2/3 e 1/2 foram introduzidos apenas por razões de conveniência numérica, conforme a seguir se compreenderá.

Conforme foi referido anteriormente, as imperfeições geométricas desempenham na análise da estabilidade de estruturas um papel fundamental. Se se admitir que a estrutura possui uma deformação inicial caracterizada por deslocamentos u_o (para $\lambda = 0$), verifica-se [1] que é a parcela destes deslocamentos afim do modo de instabilidade u_1, que produz efeitos mais severos na estabilidade da estrutura. Na Fig. 5 indicam-se por exemplo imperfeições tipo consideradas na regulamentação internacional de estruturas de aço no caso de colunas e placas.

As imperfeições afins ao 1.º modo de instabilidade, designadas por imperfeições modais, são da forma $u_Q = \epsilon u_1$ em que ϵ representa o parâmetro de imperfeição. A

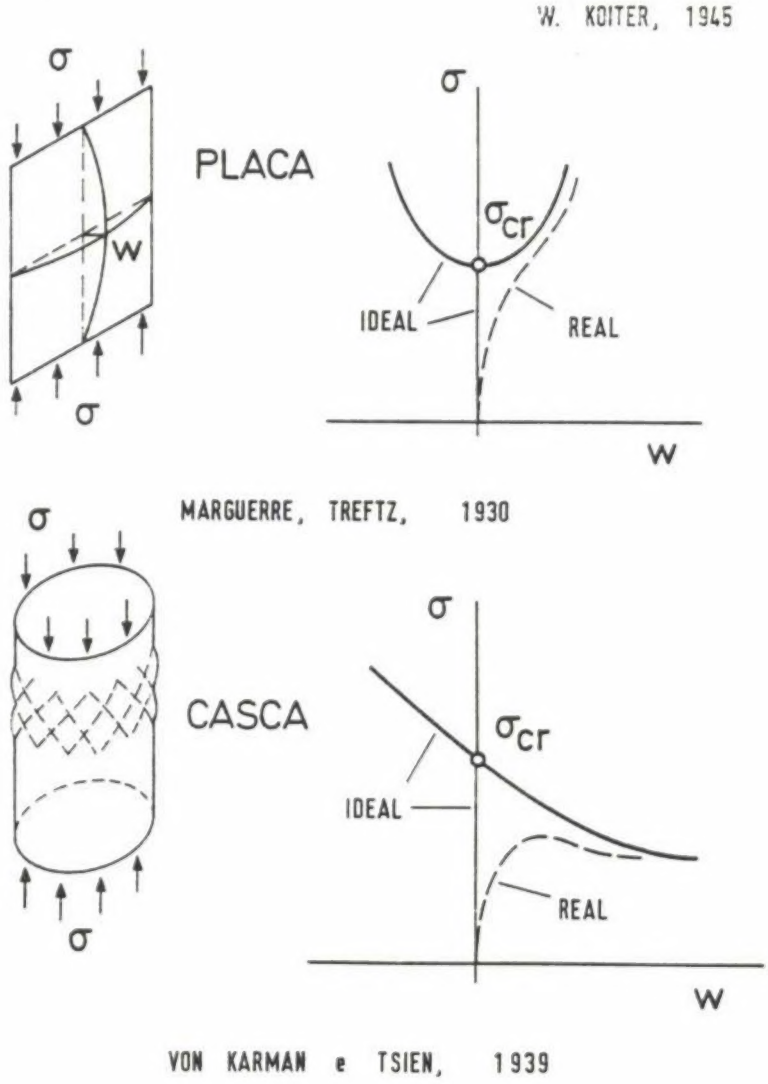


FIG. 4 - EXEMPLOS CLÁSSICOS DE PROBLEMAS DE PÓS-ENCURVADURA

energia potencial do sistema imperfeito é da forma [1,3].

$$V = (1-\frac{\lambda}{\lambda cr})\, q^2 + \frac{2}{3}\, a\, q^3 + \frac{1}{2}\, b\, q^4 - 2\, c\, \epsilon \frac{\lambda}{\lambda cr}\, q \qquad (3.7)$$

em que c é uma constante (o coeficiente -2 foi introduzido por conveniência) e os restantes parâmetros têm o significado previamente definido. Para $\epsilon = o$, obtém-se a energia potencial (3.6) do sistema perfeito. A condição de equilíbrio, obtida pelo princípio da estacionaridade da energia potencial total

$$\frac{\partial V}{\partial q} = 0 \qquad (3.8)$$

conduz, por substituição de (3.8), à solução

$$\frac{\lambda}{\lambda_{cr}} = \frac{q}{q+c\epsilon}\,(1+aq+bq^2) \qquad (3.9)$$

Esta solução permite distinguir os seguintes casos:

i) **Sistemas Com Bifurcações Assimétricas ($a \neq o$)**

Admitindo $a \neq o$, na vizinhança do ponto de bifurcação de equilíbrio pode desprezar-se o termo em q^2 em (3.9), obtendo-se então as trajectórias tipo representadas na Fig. 6.ª Note-se que a trajectória de pós-encurvadura do sistema perfeito é uma recta caracterizada pelo declive a a qual intersecta a trajectória fundamental ($q=o$) no ponto de bifurcação ($\lambda = \lambda_{cr}$). Para $\epsilon = \epsilon_o > 0$ o sistema imperfeito é sempre estável: para $\epsilon_o < 0$, o sistema imperfeito instabiliza à carga $\lambda = \lambda_l$ que define um **ponto limite** na trajectória de equilíbrio da estrutura. Esta carga limite λ_l pode ser determinada pela condição de "máximo" da trajectória ($\partial\lambda/\partial q = o$) a qual conduz à chamada relação de sensibilidade às imperfeições $\lambda_l = \lambda_l(\epsilon)$. Esta relação está definida e representada na Fig. 6. Note-se que a **sensibilidade às imperfeições** da estrutura é definida por $\lambda_{cr} - \lambda_l$ a qual é proporcional a $\epsilon^{1/2}$. Por esta razão a relação referida acima é conhecida na designação anglo-saxónica por "one half power law". Na fig. 6b apresenta-se o resultado de ensaios dum sistema estrutural, em que é patente o tipo de bifurcação assimétrico e do comportamento pós-encurvadura referido [4].

ii) **Sistemas com Bifurcação Simétrica ($a = o, b, \neq o$)**

Várias são as estruturas em que o coeficiente a em (3.6) é nulo, o que conduz às chamadas bifurcações simétricas. Estas estruturas possuem trajectórias de pós-encurvadura caracterizadas por um dos tipos representados na Fig. 7. Se $b > o$, a estrutura possui um comportamento de pós-encurvadura estável, como é o caso das placas em regime elástico. Quando $b < o$, o comportamento pós-crítico é instável podendo determinar-se a relação de sensibilidade às imperfeições definida e representada na Fig. 7, a qual é conhecida, na designação anglo-saxónica, por "two thirds power law". Este é por exemplo o caso duma casca cilíndrica submetida a uma pressão externa [5].

Um aspecto importante a realçar das Fig.as 6 e 7 é que o facto das curvas de sensibilidade às imperfeições serem tangentes ao eixo dos λ faz com que a presença duma pequena imperfeição geométrica reduza significativamente a carga de instabilidade da estrutura. Tal é o caso das cascas cilíndricas à compressão ou da casca esférica sob pressão externa, conforme se verá numa das secções seguintes.

4. ESTRUTURAS LAMINARES

Embora as estruturas reticuladas tenham sido objecto de vários estudos no domínio da análise do seu comportamento de pós-encurvadura e sensibilidade às imperfeições, têm sido sobretudo as estruturas laminares — placas e cascas, aquelas em que a maioria da investigação neste domínio se tem concentrado. Efectivamente, as estruturas reticuladas apresentam em regime elástico

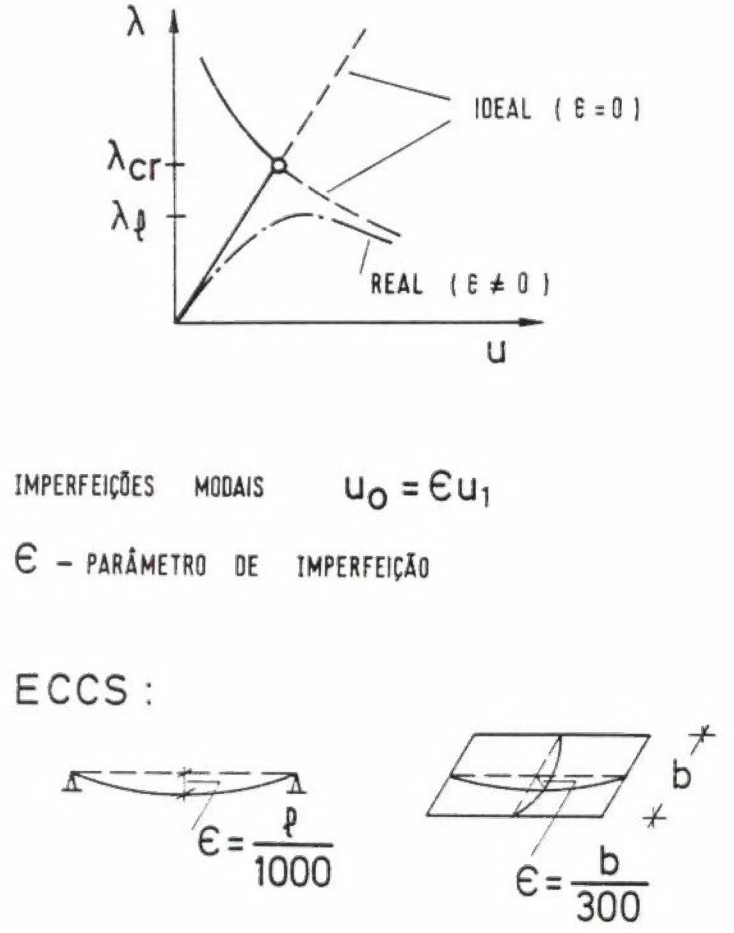


FIG. 5 - EFEITOS DE IMPERFEIÇÕES INICIAIS NAS TRAJECTÓRIAS DE EQUILÍBRIO.

comportamentos pós-críticos aproximadamente "neutros" tal como sucede com a coluna à compressão. Por essa razão, nem se consegue tirar vantagem da reserva de resistência pós-crítica (como sucede nas placas) nem se torna necessário, do ponto de vista prático, entrar em linha de conta com a sensibilidade às imperfeições quando o seu comportamento pós-encurvadura é ligeiramente instável. Note-se que está em discussão apenas o regime elástico, pois as estruturas reticuladas sujeitas a fenómenos de instabilidade em fase elasto-plástica, são normalmente sensíveis às imperfeições geométricas e às tensões residuais nos materiais.

A maioria das análises de pós-encurvadura em estruturas laminares têm sido desenvolvidas tomando por base não o campo de 3 deslocamentos — os deslocamentos de membrana no plano médio da casca e o deslocamento normal à sua superfície média, W, mas sim o deslocamento W e uma função de tensão F. Esta função corresponde aos esforços de membrana e é definida como é habitual para os estados planos de tensão.

Desenvolve-se (W,F) numa série de perturbações

$$\begin{Bmatrix} W \\ F \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} W_O \\ F_O \end{Bmatrix}^{\lambda} + \begin{Bmatrix} W_1 \\ F_1 \end{Bmatrix}^{q} + \begin{Bmatrix} W_2 \\ F_2 \end{Bmatrix}^{q2} + \dots \qquad (4.1)$$

em que (W_o, F_o) representa o estado fundamental ou de pré-encurvadura que se admite linear, (W_1, F_1) o 1.º modo de instabilidade e (W_2, F_2) o campo de 2.ª ordem correspondente a v_o na teoria geral (eq. 3.5). Por substituição de (4.1) nas equações de equilíbrio da teoria das cascas, podem obter-se por linearizações sucessivas as equações diferenciais que definem os vários campos (W_1, F_1), (W_2, F_2), etc. Em geral o desenvolvimento (4.1) "termina" no campo de 2.ª ordem (coeficiente de q^2) pois a aplicação desta técnica de "perturbação sistemática" é numéricamente complicada.

A teoria utilizada é na maioria dos casos a chamada Teoria DMV (Donnell - Mushtari - Vlasov) a qual é uma extensão da teoria de von-Karman para as placas.

As relações cinemáticas da teoria DMV são da forma

$$e = L_1(u) + \frac{1}{2} L_2(u) \qquad (4.2)$$

em que $\underline{e}$ representa simbólicamente o vector das deformações (deformações de membrana e curvaturas) e $\underline{u}$ o vector deslocamento (deslocamentos de membrana e W); e L_1 e L_2 são respectivamente operadores diferenciais **linear e quadrático**. Tem-se por exemplo, no caso de placas

$$L_2(W) = \left\{ W_{,x}^2,\ W_{,y}^2,\ -2W_{,xy}^2 \right\} \text{ com } W_{,x} = \frac{\partial w}{\partial x} \qquad (4.3)$$

As trajectórias de pós-encurvadura obtidas com esta técnica são da forma (3.9), reduzindo-se fundamentalmente a análise ao cálculo dos coeficientes $\underline{a}$, $\underline{b}$ e $\underline{c}$.

5. RESISTÊNCIA DE PÓS-ENCURVADURA

É hoje em dia bem conhecido que as estruturas metálicas de parede fina, como é o caso da coluna tubular ou do painel reforçado na Fig. 8 apresentam geralmente uma considerável reserva de resistência pós-crítica correspondente ao modo de encurvadura local. Este modo caracteriza-se, no caso da coluna, por uma série de ondas constituídas por deslocamentos W, transversais às paredes variando longitudinalmente duma forma sinusoidal com um semi-comprimento de onda da ordem

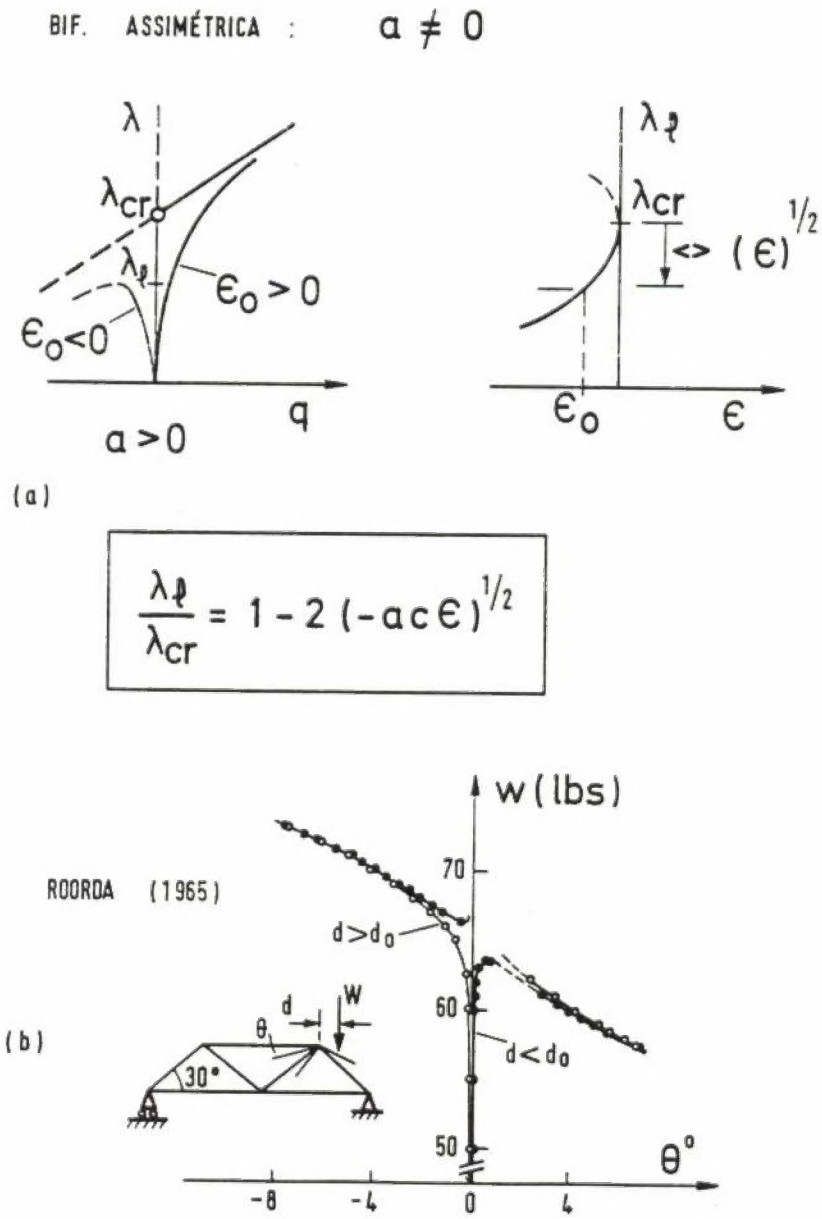


FIG. 6 - SISTEMAS COM BIFURCAÇÕES ASSIMÉTRICAS.

da largura de cada parede (igual à largura no caso do tubo quadrado). No caso do painel reforçado, que constitui por exemplo o banzo comprimido dum caixão metálico duma ponte, o modo local é caracterizado por uma ondulação da placa entre reforços semelhante ao que sucede na coluna. Quer num quer noutro caso, o elemento estrutural básico é uma placa longa à compressão, a qual se admite simplesmente apoiada ao longo dos bordos longitudinais. Torna-se suficiente analisar o que se passa com um elemento de placa de comprimento igual à semi-onda (=b), simplesmente apoiada nos 4 bordos. Na Fig. 8 representam-se as trajectórias de equilíbrio definidas pela relação entre a tensão aplicada σ e a amplitude dos deslocamentos q.

Na placa ideal a trajectória de pós-encurvadura em regime elástico é aproximadamente parabólica (pelo menos no regime inicial pós-crítico) conforme está representado e definido pela expressão contida na Fig. 8. Note-se que atingida a tensão crítica σ_{cr}, a placa encurva ($q \neq o$) atingindo-se o colapso após o início da cedência plástica a qual se propaga então rápidamente através da espessura da placa. Apresenta-se também na figura, a trajectória de equilíbrio duma placa real, isto é com imperfeições geométricas.

Da análise anterior, pode concluir-se que nas placas finas é possível tirar vantagens da reserva de resistência de pós-encurvadura, a qual é representada na figura pela diferença $\sigma_m - \sigma_{cr}$. Esta é a filosofia de projecto já adoptada há vários anos no dimensionamento das estruturas metálicas de parede fina. Não faz sentido, hoje em dia, utilizar como critério de colapso em estruturas metálicas um critério de tensões críticas, pois tal seria extremamente anti-económico. É uma situação semelhante ao que acontece nas estruturas de betão armado, em que a fendilhação não corresponde de modo nenhum ao colapso da estrutura — as estruturas de betão armado são dimensionadas para funcionarem em fase fendilhada. É necessário é limitar a abertura de fendas, assim como nas estruturas de aço há que limitar as deformações devidas à encurvadura local.

O problema que se põe no dimensionamento na fase de pós-encurvadura local é o de calcular a carga correspondente ao colapso da placa no domínio pós-crítico, isto é para $\sigma > \sigma_{cr}$. Das expressões indicadas na Fig. 8 pode observar-se que σ_{cr} é tanto maior quanto maior for a relação espessura t/largura b da placa. Por outro lado, verifica-se, da equação que define a trajectória de pós-encurvadura, que a tensão média aplicada σ aumenta proporcionalmente a $(q/t)^2$. Isto faz com que numa placa fina de aço, (ϑ=0,3) em que são perfeitamente admissíveis amplitudes de ondulação q = t, se tenha $\sigma = 1{,}34\ \sigma_{cr}$ ou seja um aumento de 34% em relação à tensão crítica. O problema é saber se a este nível de carga a placa permanece em regime elástico. Há por conseguinte que calcular as tensões máximas na fase de pós-encurvadura local e compará-las com a tensão de cedência σ_c do material. No entanto a análise feita desta forma é demasiado simplista, na medida em que se torna necessário ter em conta a presença de imperfeições geométricas na placa assim como as tensões residuais. Estas tensões são, por exemplo, introduzidas nos sub-paineis duma placa reforçada por efeito da soldadura dos reforços à placa.

Hoje em dia a regulamentação internacional costuma adoptar como medida da esbelteza das placas um parâmetro de esbelteza normalizada $\bar{\lambda}$, semelhante ao adoptado nas colunas, definido por $\bar{\lambda} = \sqrt{(\sigma_c/\sigma_{cr})}$ o qual é

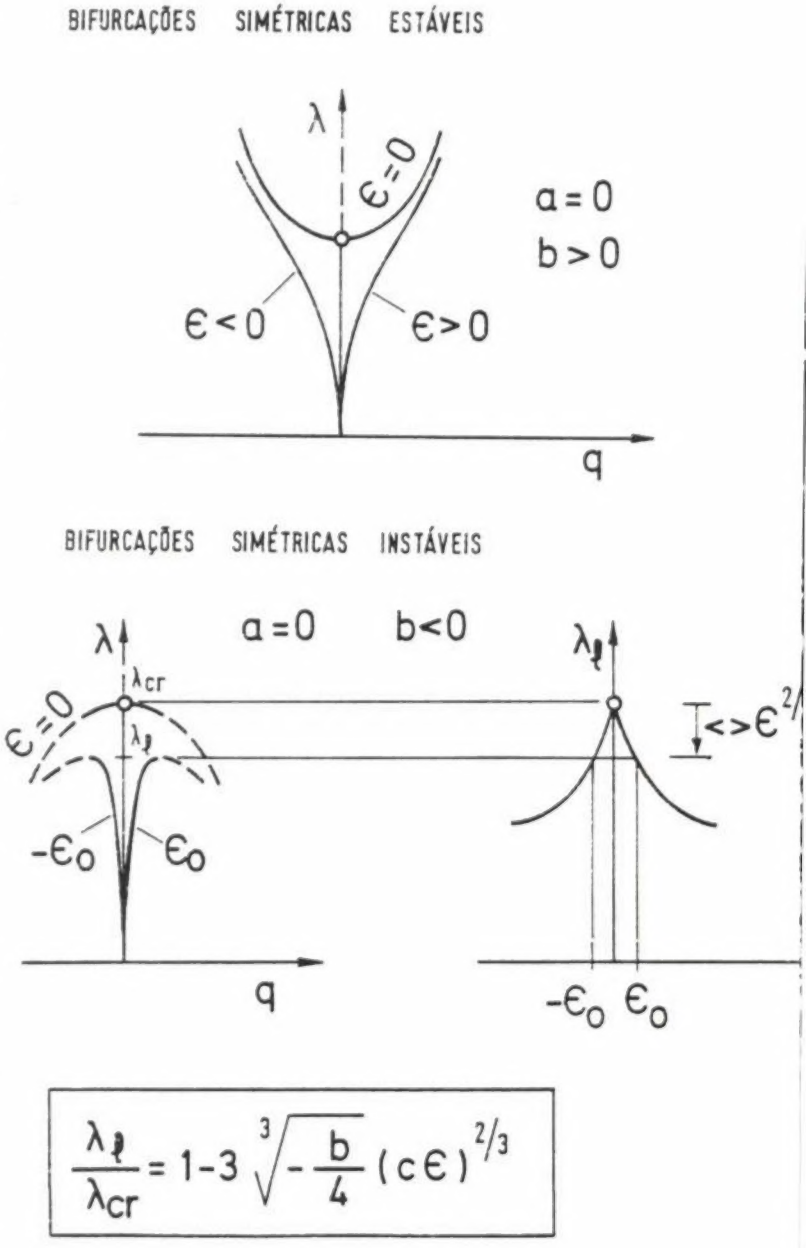


FIG. 7 - SISTEMAS COM BIFURCAÇÕES SIMÉTRICAS.

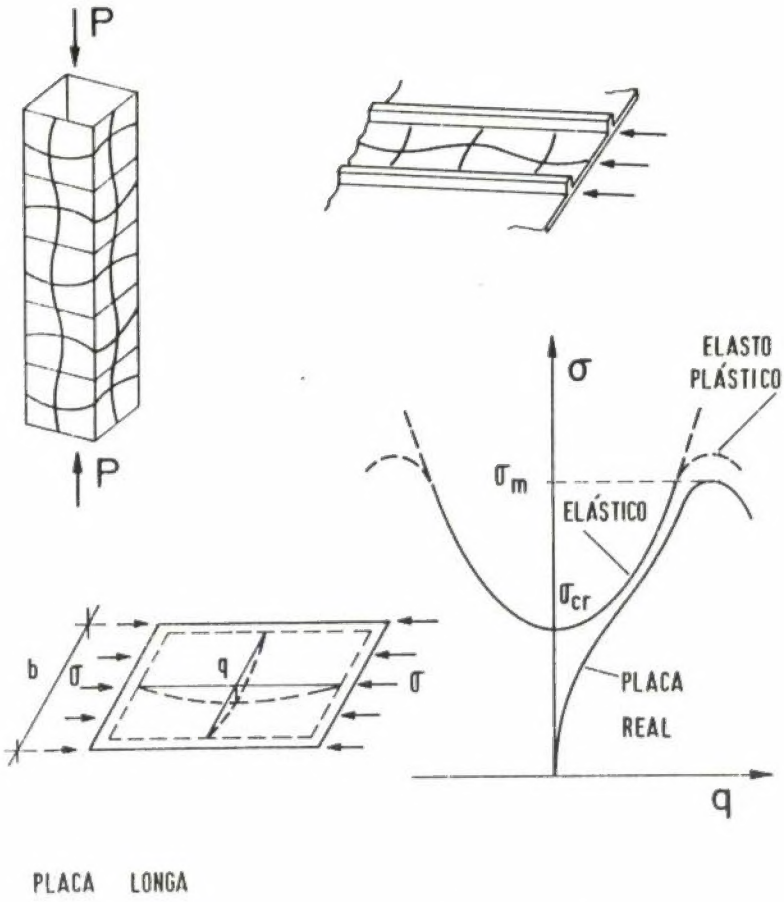
proporcional a b/t. Note-se que numa placa em que $\sigma_c = \sigma_{cr}$ se tem $\bar{\lambda} = 1$; para o aço macio (Fe36o = St37) em que E = 206 KN/mm² e ν = o,3 obtém-se para uma placa longa $\bar{\lambda}=1$ quando b/t = 56.

A Fig. 9 indica curvas de resistência de placas em termos dos parâmetros σ_m/σ_c e $\bar{\lambda}$ em que σ_m é a tensão média aplicada quando se atinge a cedência plástica na placa. Estas curvas estão representadas para vários níveis de amplitudes de imperfeição modal q_o. Note-se que a curva a tracejado é a curva de resistência baseada num critério de tensões críticas, enquanto a curva correspondente a ϵ = O corresponde à curva de resistência da placa perfeita. Como é óbvio apenas as placas com $\bar{\lambda} > 1$ possuem reserva de resistência pós-crítica, dependendo essa reserva do nível de imperfeições iniciais que possuem. Uma placa bastante esbelta, por exemplo com $\bar{\lambda} = 2$ possui uma tensão de colapso cerca de 50% superior à tensão crítica. Pelo contrário numa placa com $\bar{\lambda}$ = 1 a tensão de colpaso, para uma imperfeição da ordem dos 30% da espessura (ϵ =0,3), é apenas 70% da tensão crítica ($\sigma_{cr} = \sigma_c$ para $\bar{\lambda} = 1$). Existe neste último caso uma sensibilidade às imperfeições geométricas, em fase elasto-plástica, de 30%.

Da análise anterior conclui-se que se torna possível tirar vantagem da reserva de resistência de pós-encurvadura sempre que as placas forem esbeltas, mas não nas placas pouco esbeltas.

No Quadro 1, apresentam-se os resultados dum cálculo que se efectuou para o banzo comprimido do caixão que constitui a ponte sobre o Danúbio em Viena cujo colapso parcial ocorreu em 1969. Utilizaram-se métodos de cálculo devidos a vários autores para a determinação da tensão média de colapso dos sub-paineis σ_m, tendo em conta a presença de imperfeições geométricas δ_o e de tensões residuais de compressão δ_{oc}. Os parâmetros α e δ_o são "imperfeições equivalentes" do efeito combinado das imperfeições geométricas e tensões residuais, que são introduzidas nos métodos desenvolvidos pelos autores indicados. Os detalhes dos cálculos podem ser vistos na Ref. [8].

Da análise do Quadro 1 conclui-se fundamentalmente que os sub-paineis, que possuíam um $\bar{\lambda} = 1.14$, tinham na ausência de imperfeições uma tensão média de colapso de 254 N/mm² ou seja cerca de 15% superior à tensão crítica (222N/mm²). No entanto, introduzindo o efeito de imperfeições, com ordens de grandeza susceptíveis de ocorrerem na prática, conclui-se que as tensões de colapso seriam possivelmente inferiores a 180 N/mm², ou seja os subpaineis possuiam uma sensibilidade às imperfeições pelo menos da ordem dos 20%. Ora, segundo cálculos desenvolvidos por Sattler, na altura do colapso e devido a circunstâncias referidas em [8], a tensão atingiu um valor da ordem de σ_{cr} = 222N/mm². De notar que, de acordo com as especificações austríacas



$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{3(1-\nu^2)}\left(\frac{t}{b}\right)^2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \simeq 1 + \frac{3}{8}(1-\nu^2)\left(\frac{q}{t}\right)^2$$

FIG. 8 - RESISTÊNCIA DE PÓS-ENCURVADURA LOCAL EM ESTRUTURAS METÁLICAS DE PAREDE FINA - COLUNA TUBULAR E PAINEL REFORÇADO.

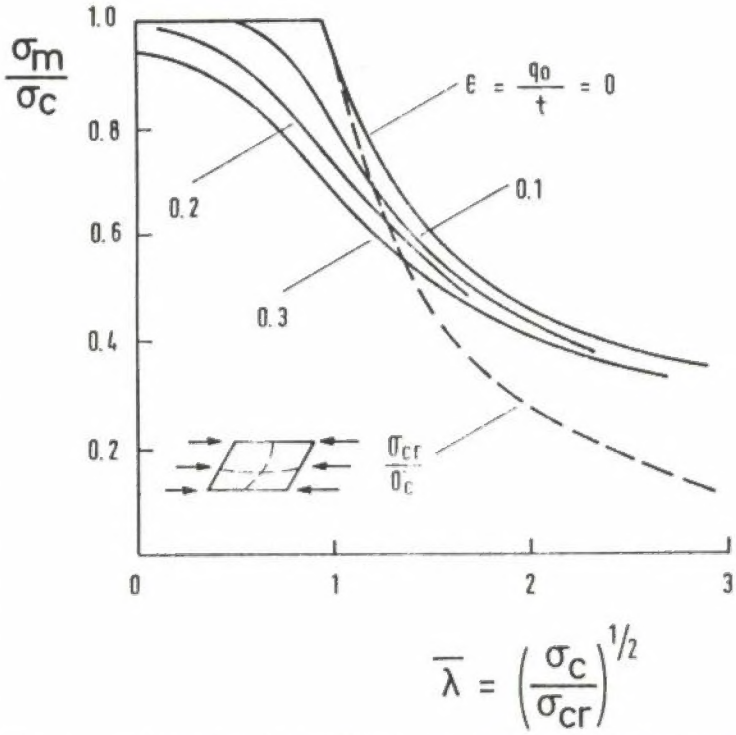


FIG. 9 - CURVAS DE RESISTÊNCIA DE PLACAS À COMPRESSÃO.

de então, a tensão admissível para a encurvadura era $\sigma_{adm} = \sigma_{cr}/1.25 = 178N/mm^2$. Isto mostra que os factores de segurança então utilizados, os quais eram aplicados às tensões críticas ideais, eram insuficientes. Faz-se notar finalmente que apenas se considerou aqui o modo de encurvadura local, tendo-se admitido, tal como no dimensionamento da ponte, que os reforços eram suficientemente rígidos para que o modo local fosse o modo crítico. Sabe-se hoje em dia que o critério de rigidez de reforços utilizado, baseado em tensões críticas dos sub-paineis e do painel no seu conjunto, é contra a segurança [7].

Ao terminar esta secção convém referir a forma como o problema da encurvadura local nas estruturas de parede fina é tratado a nível da regulamentação internacional. Em especial refere-se a regulamentação sobre estruturas de aço enformadas a frio ("Cold Formed Sections") cujas secções possuem espessuras que em geral não ultrapassam os 3 ou 4 mm.

Existem básicamente duas formulações — uma baseada no cálculo da tensão média no colapso σ_m; outra baseada no conceito de "largura efectiva" introduzido por von-Karman em 1931. A primeira destas formulações é utilizada na British Standard 449 para dimensionamento de secções de aço enformadas a frio, conforme se indica na Fig. 10. A segunda baseia-se na substituição do diagrama não linear de tensões de membrana na fase de pós-encurvadura (σ_x na Fig. 10) por um diagrama uniforme, de valor igual à tensão máxima (no bordo) σ_e distribuído numa largura "efectiva" b_e de modo a que a sua resultante seja igual à do diagrama de tensões reais. Estão neste caso as especificações da American Iron and Steel Institute (AISI) e da Canadian Standard Association (CSA). que adoptam a fórmula de Winter (1968) para a determinação de b_e. As secções estruturais são então substituídas por secções efectivas com elementos de placa de largura b_e [7] efectuando-se a verificação de tensões pelos métodos habituais da Resistência de Materiais.

6. ESTABILIDADE DE CASCAS

Os problemas de estabilidade de cascas têm sido objecto da maioria das aplicações da Teoria da Pós-Encurvadura. A razão fundamental da grande atenção que as cascas receberam por parte dos investigadores neste domínio, deve-se à grande influência que o comportamento pós-encurvadura tem na carga de colapso destas estruturas. O seu comportamento pós-crítico é em geral fortemente instável implicando uma grande sensibilidade às imperfeições geométricas, mesmo em regime elástico.

A casca cilíndrica à compressão (Fig. 1) é o exemplo mais clássico dum comportamento pós-crítico fortemente instável. A tensão crítica ideal σ_{cr}, definida na Fig. 11", no caso de cascas de aço ($\upsilon = 0,3$) é dada por O.6Et/R, possuindo a casca uma infinidade de modos de instabilidade associados a esta tensão. Parte destes modos são axissimétricos mas outra parte são assimétricos, conforme se ilustra na Fig. 11". A interacção destes modos é fortemente responsável pela instabilidade do comportamento pós-crítico. Essa instabilidade é frequentemente simbolizada pela forma da trajectória que representa a variação da tensão aplicada σ com a extensão axial ϵ. Esta variação é linear até atingir σ_{cr} mas é fortemente não linear após se atingir o estado crítico. A presença de pequenas imperfeições geométricas faz com que a trajectória de equilíbrio da casca real possua uma tensão limite de colapso muito inferior à tensão crítica ideal (Fig. 11).

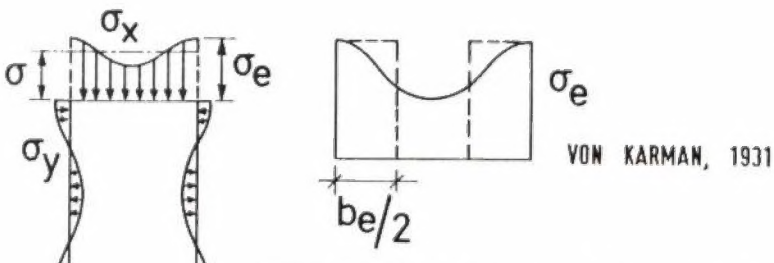
1 • TENSÃO MÉDIA NO COLAPSO:
BS 449, COLD FORM. SECTIONS

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_c} = \beta \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_c}\right)^{1/n}$$

$n = 3$ $\beta = 0.66$

CHILVER, 1953

2 • LARGURA EFECTIVA:
AISI, CSA



VON KARMAN, 1931

$$\frac{b_e}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_c}}\left(1 - 0.22\sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_c}}\right)$$

G. WINTER, 1968

FIG. 10 - ENCURVADURA LOCAL - REGULAMENTAÇÃO INTERNACIONAL.

Um dos primeiros estudos neste domínio em que a Teoria da Pós-Encurvadura foi aplicada, deve-se a Koiter (1945) que analisou a influência de imperfeições axissimétricas nas cascas cilíndricas à compressão. Sob a acção crescente da compressão σ a casca começa por se deformar axissimétricamente até que atinge uma tensão σ_b em que existe uma bifurcação de equilíbrio num modo de instabilidade assimétrico. Na Fig. 12 apresenta-se a influência da amplitude das imperfeições axissimétricas ϵ (medidas em relação à espessura da casca) na tensão de colapso σ_b. Faz-se notar que uma imperfeição da ordem de 20% da espessura da casca ($\epsilon = 0{,}2$) reduz em quase 50% a tensão crítica; para uma imperfeição da ordem da espessura da casca a redução é de 75%.

As imperfeições geométricas são à partida grandezas de carácter aleatório que só podem ser quantificadas com base em distribuições de probabilidade. Este tem sido um domínio de investigação em que se têm feito vários esforços no domínio da Teoria da Pós-Encurvadura. Utilizando ainda o exemplo anterior da casca cilíndrica à compressão apresentam-se na Fig. 12 o diagrama de sensibilidade às imperfeições obtido com base num estudo probabilístico desenvolvido por Roorda e Hansen (1972). As imperfeições foram admitidas com distribuições gausseanas de valor médio $\bar{\epsilon}$ e determinou-se o valor médio da carga crítica $\lambda = \sigma_b/\sigma_{cr}$ para vários valores do desvio padrão de ϵ. Verifica-se que, à medida que o valor médio da imperfeição aumenta, a influência do desvio padrão de ϵ na carga de colapso diminui. Este mesmo problema foi retomado recentemente [9] para efectuar uma simulação numérica das curvas europeias para o dimensionamento de cascas metálicas. Na Fig. 13 [9] compara-se a curva europeia para o dimensionamento de cascas cilíndricas à compressão com a curva teórica correspondente a uma fiabilidade de 95% obtida com base na análise probabilística acima referida. Tanto o valor médio como o desvio padrão das imperfeições admitiram-se directamente proporcionais à relação raio r/espessura t da casca, sendo as respectivas constantes de proporcionalidade B_1 e B_2 (ver Fig. 13). A dispersão dos valores experimentais indicados na figura traduz bem a grande aleatoridade das tensões de colapso das cascas cilíndricas comprimidas.

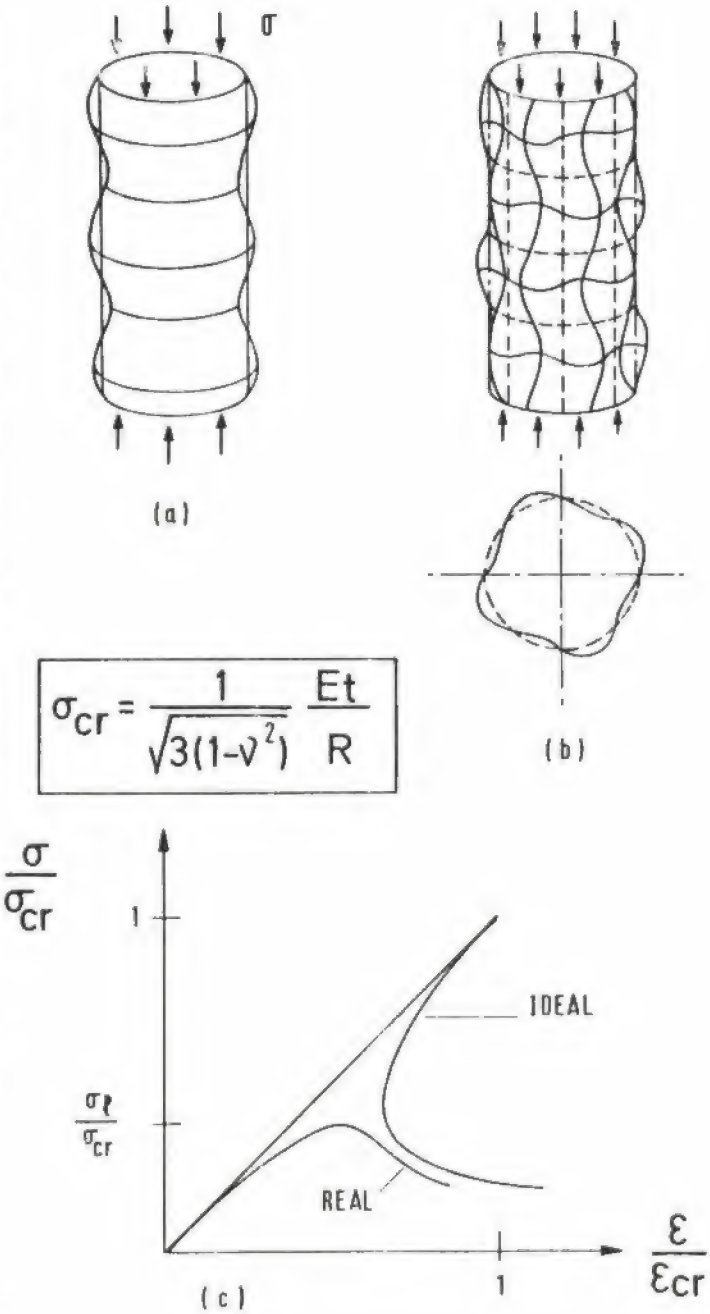


FIG. 11
CASCA CILÍNDRICA À COMPRESSÃO - MODOS DE INSTABILIDADE AXISSIMÉTRICOS (a) E ASSIMÉTRICOS (b). TRAJECTÓRIAS DE EQUILÍBRIO. ϵ - EXTENSÃO AXIAL.

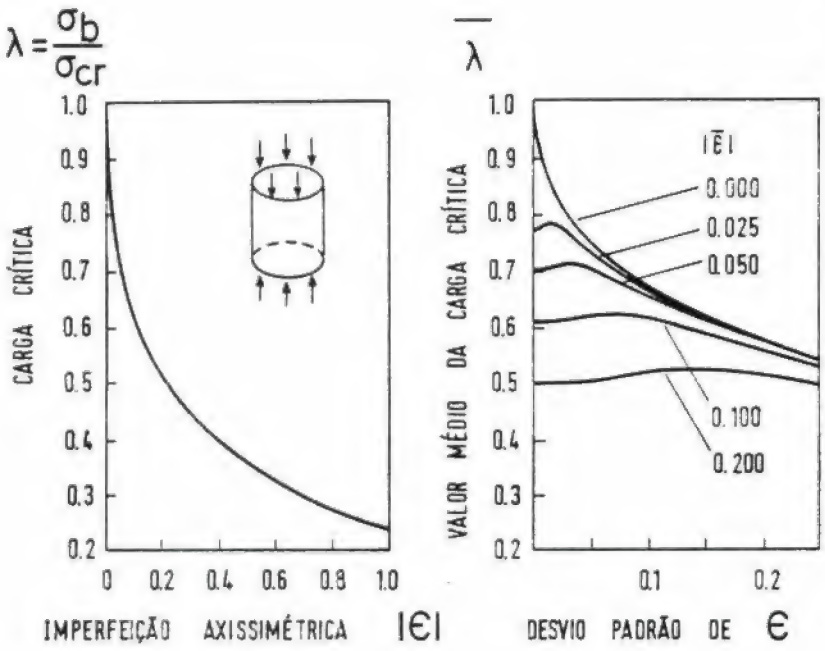
REFERÊNCIAS

[1] Koiter, W.T — Current Trends in the Theory of Buckling, em Buckling of Structures, Springer — Verlag, 1976.

[2] Reis, A.J. — Postbuckling Behaviour Under Mode Interaction — J. Engr. Mech. Div., ASCE, Vol. 105, No EM4, AM4, 1979.

[3] Reis — Curso de Estabilidade de Estruturas — Mestrado em Eng.ª Estrutural, IST — CMEST, 1982.

[4] Roorda, J. — The Buckling Behaviour of Imperfect Structural Systems — J. Mech. Phys. Solids, 1965, Vol. 3, pp. 267 a 280.



DETERMINÍSTICO

$$2(1-\lambda)^2 - 3c\epsilon\lambda = 0$$

(KOITER, 1945)

PROBABILÍSTICO

ϵ - DISTR. NORMAL

(ROORDA E HANSEN, 1972)

FIG. 12 - SENSIBILIDADE ÀS IMPERFEIÇÕES AXISSIMÉTRICAS DAS CASCAS CILÍNDRICAS.

[5] Budiansky, B. e Amazigo, J.C. — Inital postbuckling behaviour of cylindrical shells under external pressure, J. Math. Phys. 1968, 47,223.

[6] Walker, A. — Design and analyis of cold formed sections — Halstead Press — John Wiley, 1975.

[7] Reis, A.J. — Princípios básicos da nova regulamentação sobre estabilidade de estruturas metálicas, LNEC, S293, 1983.

[8] Reis, A.J. — Análise e dimensionamento de paineis reforçados, Ref. DEC DT3 CMEST, 1979.

[9] Reis, A.J. e Virtuoso, F.E. — Numerical simulation of the ECCS buckling curves for cylindrical shells in the elastic and plastic ranges, — Stability of metal structures, Prel. report, Paris 1983.

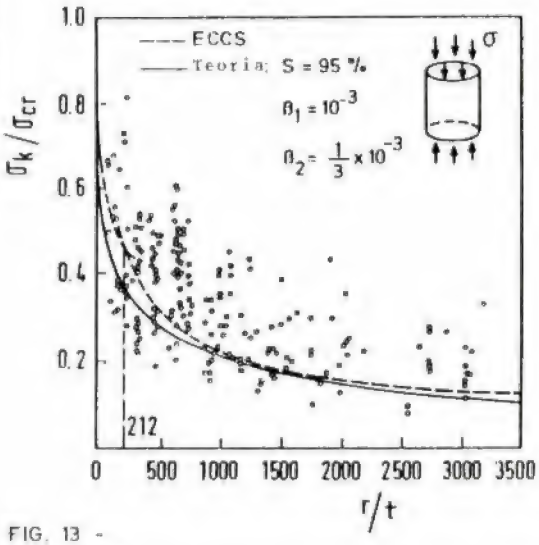


FIG. 13 - COMPARAÇÃO DA CURVA EUROPEIA PARA A TENSÃO CARACTERÍSTICA DE ENCURVADURA ELÁSTICA (σ_k) DE CASCAS CILÍNDRICAS À COMPRESSÃO COM UMA CURVA TEÓRICA COM 95 % DE FIABILIDADE. RESULTADOS EXPERIMENTAIS (o).

CLASSIFICAÇÃO DE MÉTODOS SEPARATIVOS EM QUÍMICA

ARMANDO J. L. POMBEIRO
Centro de Química Estrutural, Complexo I
Instituto Superior Técnico

I — Introdução

O desenvolvimento e aplicação de técnicas separativas têm vindo a desempenhar um papel fundamental no progresso de várias ciências designadamente a Química, na qual têm inspirado vários vocábulos.

Assim, «destilação» significa separação gota a gota e em indicada já em 1500 a. C. em papiros com representações da carbonização da madeira. Era praticada pelos Egípcios muito antes da era Cristã e cultivada como uma Ciência secreta por sacerdotes; era também aplicada na Pérsia, Índia e China, nomeadamente na preparação de óleos etéreos, e a destilação da água para os marinheiros era já explicada por Aristóteles na Grécia (séc. IV a. C.).

O termo destilação chegou a designar globalmente um conjunto de processos separativos tais como a cristalização, a filtração e a extracção. Na Idade Média, a destilação e a cristalização foram largamente usadas e permaneceram até ao princípio do século actual como os métodos separativos fundamentais ao dispor da Química.

Com a racionalização das operações metalúrgicas, nomeadamente a tentativa de separação do ouro dos metais menos preciosos, encontra-se na literatura do séc. XVI (Agricola, Ercker, Biringuccio) termos como divisão e água de divisão (ácido nítrico).

Porém, embora certas «artes» separativas fossem praticadas há mais de um milénio antes do início da era cristã, a evolução das exigências separativas decorrente do desenvolvimento da Química não era satisfeita pelas bases separativas inicialmente reconhecidas (baseadas no carácter volátil ou não-volátil, solúvel ou insolúvel e ácido ou alcalino) que se mostravam incapazes de permitir a separação de substâncias com propriedades análogas.

Na actualidade, é unanimemente reconhecida a importância de técnicas separativas, quer a nível preparativo quer analítico, tendo sido atribuído, em 1952, o prémio Nobel da Química a A. J. Martin e R. L. M. Synge pelos desenvolvimentos introduzidos em processos cromatográficos.

Com frequência, em produções industriais, os processos separativos revestem-se de elevado significado económico podendo constituir fracção maioritária do custo de uma substância pura.

A importância relevante da separação em Química é ainda bem patente na palavra «Scheikunde» que designa, em holandês, Química (não avançada) e significa a «arte de separação».

A grade versatilidade de técnicas separativas actualmente conhecidas, o reconhecimento de bases e princípios comuns e a sua importância justificam possivelmente já o seu tratamento unificado nomeadamente através da criação de uma cadeira de Métodos Separativos em Química com os objectivos gerais seguintes: tratamento integrado dos processos separativos através da apresentação conjunta de métodos afins e do seu estudo individual, procurando evidenciar a unidade entre a diversidade destes processos; apresentação e/ou revisão dos fundamentos físicos e químicos comuns a processos separativos e sua aplicação a métodos individuais; prática de técnicas separativas. O presente trabalho pretende contribuir.

Original recebido para publicação em 25-3-85.

Quadro 1 — **Classificação de processos separativos bifásicos segundo o tipo predominante de propriedade transferida e o estado físico das fases envolvidas.**

	Natureza das fases envolvidas	Processo separativo
Transferência de massa	Líquido-líquido	Extracção líquido-líquido Separação por membrana líquida Cromatografia líquido-líquido Transferência através de uma membrana [diálise, osmose (inversa), ultrafiltração]
	Gás-líquido	Absorção gasosa Adsorção na interfase gás-líquido (separação por espuma, etc.) Cromatografia gás-líquido
	Líquido-sólido	Adsorção Lixiviação Cromatografia líquido-sólido
	Gás-sólido	Adsorção Cromatografia gás-sólido
Transferência de massa e de calor	Líquido-sólido	Precipitação Fusão de zona
	Líquido-gás	Destilação Secagem
	Sólido-gás	Sublimação
Transferência de quantidade de movimento		Filtração Centrifugação

embora de modo preliminar, para o estudo dos métodos separativos em Química sob uma perspectiva inserida nos dois primeiros objectivos gerais mencionados, através da apresentação dos tipos fundamentais de classificação daqueles métodos.

Embora o reconhecimento de semelhanças e o agrupamento de métodos separativos tenham sido apresentados por vários autores, a ciência da classificação (taxonomia) [1] não encontrou ainda, neste domínio, aplicação com interesse significativo. A classinficação dos métodos separativos é, em geral, de tipo *monotético* (baseado apenas numa propriedade ou característica que é comum a todos os membros de cada classe). São, porém, conhecidas classificações um pouco mais elaboradas (veja-se a classificação de Giddings adiante mencionada) que, não obstante, não são tão completas quanto as de tipo politético. (*)

(*) As classificações de tipo politético recorrem a semelhanças e diferenças de várias (n) propriedades ou características, sendo os elementos a classificar agrupados em aglomerados no espaço n-dimensional definido por aquelas propriedades ou características; na classificação politética, os elementos de cada grupo apresentam várias propriedades comuns, embora sem compartilharem necessariamente, todos os elementos, qualquer das propriedades.

II — Tipos de classificação

Dada uma mistura de vários componentes, designa-se por *separação* a divisão de componentes entre várias regiões do espaço, enquanto que a *segregação* consiste na divisão de um componente entre duas ou mais regiões macroscópicas. A porção do espaço na qual é segregado um produto (um ou mais componentes da mistura) de um processo separativo é designada por região.

Os métodos separativos podem ser classificados segundo diversos critérios, baseados quer nas propriedades das fases envolvidas ou dos componentes da amostra e na aplicação da mesma, quer no tipo de propriedade transferida no processo separativo; podem ainda agrupar-se atendendo à sua natureza (de equilíbrio, cinética ou mecânica), à natureza das forças responsáveis pela separação e à sua localização e orientação relativamente ao fluxo, critérios com valor interpretativo da separação envolvida. A forma assumida por parâmetros definidores da separação constitui também um critério de classificação que pode, no entanto, apresentar uma complexidade considerável.

II.1 — Classificação quanto ao agente de separação

Dado que a separação constitui o processo oposto ao da mistura, a qual é de natureza irreversível, a ocorrência daquela (que, por considerações entrópicas, pode constituir um processo anti-natural) [2] exige o dispêndio de energia que, em geral, é fornecida através de um agente de separação [3] que pode ser mássico ou energético. Entre os processos de agente de separação *mássico* podem citar-se a extracção, a absorção e a cromatografia, em que aquele agente é um solvente, um fluxo mássico ou uma fase estacionária (e outra móvel). Como exemplos de processos de agente de separação *energético* podem mencionar-se a destilação e a cristalização em que aquele agente é fornecido sob a forma de calor, arrefecimento ou compressão.

II.2 — Classificação quanto ao tipo predominante de propriedade transferida e ao estado físico das fases envolvidas

As operações separativas envolvem, frequentemente, a *transferência* interfásica de massa, calor ou quantidade de movimentação. Em outros casos a transferência pode ocorrer no seio de uma só fase, caso em que pode designar-se por *transporte;* os dois termos, transferência e transporte, são, porém, usados indistintamente, com frequência. No Quadro 1 é indicada a classificação de métoods separativos *bifásicos* segundo o tipo predominante de propriedade transferida entre fases, sendo os tipos fundamentais sub-classificados segundo a natureza das fases envolvidas. [4]

Entre os processos separativos que envolvem fundamentalmente o *transporte* de massa no seio de uma só fase podem citar-se a electroforese e o fraccionamento por fluxo e campo, (*) técnicas em que pode também desempenhar um papel importante a transferência da quantidade de movimento derivada do fluxo de partículas no seio de um fluido.

(*) No fraccionamento por fluxo e campo aplica-se um campo (eléctrico, térmico, magnético, de fluxo, etc.) perpendicularmente a um fluxo laminar que transporta, numa fina conduta, os elementos (macromoléculas ou partículas) a separar: a retenção (selectiva) desulta da sua compressão em camadas (de espessuras variáveis) próximas a uma das paredes da conduta (a velocidade de deslocamento da camada será tanto menor quanto maior a proximidade entre o seu centro de gravidade e a parede da conduta).

II.3 — Classificação quanto à orientação relativa dos fluxos das fases

Nos métodos separativos bifásicos, podem distinguir-se os tipos principais seguintes de operação, atendendo à orientação relativa dos fluxos das fases.

Na operação em *co-corrente*, de baixo interesse analítico, as duas fases movem-se no mesmo sentido, enquanto que na operação em *corrente cruzadas* a fase que contém a amostra pode ser considerada estacionária e é contactada por sucessivas porções de fase móvel (como exemplos podem mencionar-se a destilação simples e a extracção múltipla líquido-líquido num funil de decantação em que a fase estacionária de refinado é contactada repetidamente por porções de fase extractora que se podem combinar finalmente numa outra unidade). Na operação em *contracorrente*, as duas fases movem-se em sentidos opostos; no caso de uma das fases ser estacionária, a operação é em *pseudo-contracorrente*, distinguindo-se, porém, do processo de correntes cruzadas, dado que neste último, ao contrário da operação em pseudo-contracorrente, não ocorre a adição sucessiva de porções de ambas as fases.

A extracção líquido-líquido pode ser efectuada através de qualquer dos métodos referidos, enquanto que a cromatografia é, em geral, em pseudo-contracorrente, e a destilação fraccionada é em contracorrente.

II.4 — Classificação quanto à origem da «segunda» fase

Nos métodos separativos bifásicos, pode ser designada de *inicial (primeira)* a fase que contém a amostra (ou é a amostra), sendo então a outra denominada *segunda* fase; esta pode ser *adicionada* ao sistema (cromatografia, extracção líquido-líquido, electroforese, diálise, etc.) ou *formada* durante o processo separativo (precipitação, destilação, fusão de zona, fraccionamento por espuma, formação de compostos de inclusão, electrodeposição, etc.).

II.5 — Classificação quanto à aplicação da amostra

Nos processos separativos bifásicos, a amostra pode ser aplicada a uma das fases (na cromatografia, extracção líquido-líquido, electroforese e diálise), dita inicial (ou primeira), como se referiu, ou pode, ela própria, constituir esta fase (na destilação, cristalização e fusão de zona).

Os métodos separativos podem ainda classificar-se atendendo às condições-fronteira iniciais da amostra aplicada.

Assim, na *análise frontal*, a amostra é aplicada continuamente ou, pelo menos, ocupa uma extensão considerável do sistema separativo (figura 1 *a*, *b*). Não é então possível a separação completa dos componentes da amostra; apenas uma porção do componente mais rápido (e outra do mais lento, no tipo descontínuo) podem ser obtidas no estado puro. Este tipo de análise é aplicado na electroforese em solução livre e pode também ser utilizado em cromatografia.

Na *análise zonal* (utilizada na electroforese de zona e, com frequência, na cromatografia), a amostra é aplicada de modo a ocupar uma estreita faixa, sendo possível a separação completa dos componentes em *zonas distintas* com diferentes velocidades de migração (figura 1 *c*).

Na *análise por deslocamento*, de interesse sobretudo à cromatografia de adsorção, a amostra é aplicada segundo uma estreita faixa (tal como na análise zonal) sendo, em seguida, adicionada continuamente uma espécie (na fase móvel) que é mais fortemente adsorvida, pela fase adsorvente estacionária, do que qualquer dos componentes da amostra, deslocando estes desta fase. Cada componente deslocará também os mais fracamente adsorvidos à sua frente, até à formação, no estado estacionário, de zonas *contíguas*, cada uma com um só componente; a ordem de eluição será a inversa da de intensidade de adsorção.

II.6 — Classificação quanto às propriedades da amostra e ao tipo de análise permitida

As propriedades dos componentes das misturas a analisar são fundamentais na escolha dos métodos separativos e estes podem agrupar-se segundo as características que as espécies devem apresentar para serem susceptíveis de separação.

Assim, por exemplo, a destilação e a cromatografia gasosa são aplicáveis apenas a espécies de volatilidade considerável, enquanto que a cromatografia líquida e a extracção líquido-líquido se aplicam, em geral, a espécies pouco voláteis. Além disso, a cromatografia de permuta iónica e a electroforese aplicam-se apenas a espécies iónicas.

Os métodos separativos podem ainda agrupar-se segundo o tipo de análise que permitem.

Assim, a destilação, a cromatografia em papel, a electroforese e a diálise são, em geral, empregues em análise *qualitativa*, enquanto que a extracção líquido-líquido e a maioria dos métodos cromatográficos são aplicáveis, convenientemente, em análises *quantitativas*. A diálise, a cromatografia em papel e a precipitação podem aplicar-se em separações de *grupos* de componentes de uma mistura, mas a destilação e a cromatografia gasosa são, habitualmente, utilizadas na separação *individual* dos componentes. A destilação, a diálise e a precipitação permitem a obtenção de espécies com elevada *recuperação* (rendimento) mesmo à escala preparativa; porém, os métodos cromatográficos, em geral, são mais convenientemente aplicados em escala analítica, com obtenção de espécies de alta *pureza*.

Atendendo às propriedades dos componentes da amostra e aos tipos de análise obtidos, Miller [5] propôs uma classificação dos métodos separativos segundo oito critérios (Quadro 2). O mesmo autor indicou ainda mais dois critérios gerais, embora menos bem definidos: custo e rapidez do método; preferência pessoal e disponibilidade de equipamento.

II.7 — Classificação quanto à natureza (de equilíbrio, cinética ou mecânica) do processo envolvido

Os tipos de classificação anteriores não atendem às causas da separação, apresentando fraco valor interpretativo da mesma. São, no entanto, conhecidas formas de classificação em que os processos separativos são abordados sob esta perspectiva. Assim, há processos que podem ser explicados recorrendo a um modelo físico de andares de equilíbrio, enquanto outros seguem um modelo de não equilíbrio [4, 6].

O modelo de *equilíbrio* é baseado na aproximação do equilíbrio entre as composições de duas fases (imiscíveis); a separação obtida resulta, em geral, de diferenças de distribuição entre as duas fases, no equilíbrio, dos componentes a separar. Este modelo aplica-se (Quadro 3) no estudo da extracção líquido-líquido, da adsorção fluido-sólido e de processos que envolvem uma mudança de estado físico, tais como a precipitação, a destilação em geral, a sublimação, a fusão de zona; encontra também aplicação, em certa medida, na cromatografia.

Os modelos *cinéticos*, de *não-equilíbrio*, baseiam-se em diferenças de velocidade de transporte ou de transferência interfásica dos componentes da mistura; a separação resulta de diferenças das propriedades cinéticas dos componentes, nomeadamente velocidades de migração num campo gravitacional, eléctrico ou térmico, ou velocidades de difusão através de uma membrana.

O transporte das moléculas de cada componente pode resultar da acção combinada de um gradiente de concentração (difusão molecular), de um campo externo aplicado e do fluxo de solvente, podendo a equação básica de transporte assumir a forma diferencial seguinte [7]:

$$J = cW - D.\nu c/\nu x \qquad (1)$$

em que **J** é o fluxo (velocidade de transporte por

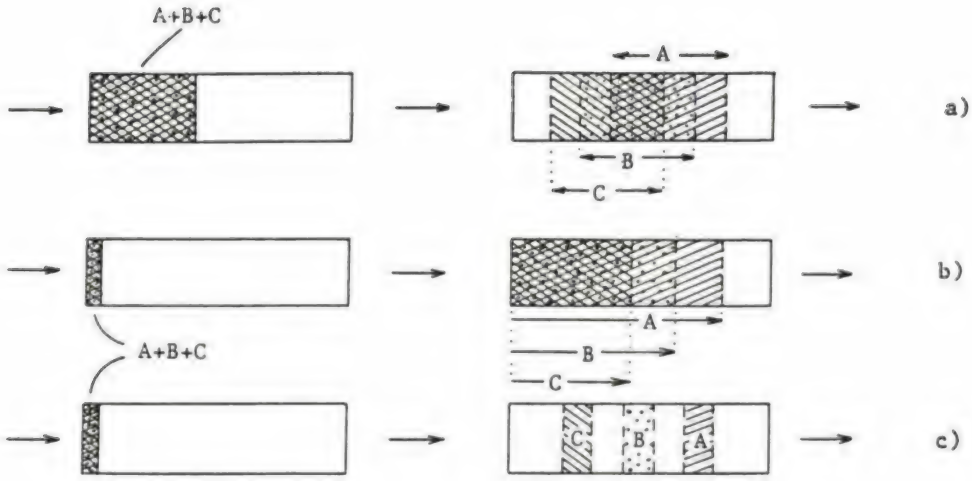


Fig. 1 — Separação dos componentes de uma mistura por análise frontal descontínua (a), análise frontal contínua (b), e análise zonal (c)

Quadro 2 — **Classificação dos métodos separativos segundo as propriedades da amostra e o tipo de análise obtida.** [5]

Critério		*Método separativo* [a]												
A [b]	B [b]	ELL	D	CG	CLS	CLL	CPI	CPG	CP	E	DL	P	CI	S
PROPRIEDADES DA AMOSTRA														
1 — Hidrofílica	Hidrofóbica	X	B	B	B	B	A	X	X	A	A	A	X	A
2 — Iónica	Não-iónica	X	B	B	B	B	A	B	X	A	X	A	B	X
3 — Volátil	Não-volátil	B	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	X	B
4 — Simples	Complexa	A	A	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A
TIPOS DE ANÁLISE														
5 — Quantitativa	Qualitativa	A	B	A	A	A	A	A	B	B	B	A	A	A
6 — Individual	De grupo	X	A	A	X	A	A	X	B	X	B	B	X	X
7 — Recuperação	Pureza	X	A	B	B	B	B	B	B	B	A	A	B	B
8 — Analítica	Preparativa	X	B	A	A	A	A	A	A	A	B	X	B	X

(a) ELL — Extracção líquido-líquido. D — Destilação. CG — Cromatografia gasosa. CLS — Cromatografia líquido-sólido. CLL — Cromatografia líquido-líquido. CPI — Cromatografia de permuta iónica. CPG — Cromatografia (de permeação) gel. CP — Cromatografia plana. E — Electroforese. DL — Diálise. P — Precipitação. CI — Compostos de inclusão. S — Sequestração.

(b) A indicação de um A (ou B) neste quadro indica que o método se limita ou é mais frequentemente aplicado ao tipo correspondente de amostra ou de análise, enquanto que um **X** refere que o método se aplica a ambos os tipos (A e B) correspondentes de amostra ou de análise, ou a sua distinção não é importante.

Quadro 3 — **Classificação de operações separativas segundo a natureza (de equilíbrio, cinética ou mecânica) do processo envolvido**

Equilíbrio interfásico	Processo cinético	Processo mecânico
Extracção líquido-líquido	Cromatografia	Filtração
Adsorção	Electroforese	Cromatografia gel
Precipitação	Diálise	Elutriação
Cristalização	Osmose inversa	Flotação
Fusão de Zona	Ultrafiltração	(Fraccionamento
Destilação	Separação por membrana líquida	por fluxo e campo)
Sublimação	Ultracentrifugação	
Cromatografia	Destilação molecular	
	Fraccionamento por fluxo e campo	

unidade de área, moles por unidade de tempo e de área) de soluto ao longo do eixo **x**, **c** é a concentração do soluto, $\nu c/\nu x$ é o gradiente de concentração na direcção do eixo **x**, **D** é o coeficiente de difusão, e **W** é a velocidade média de migração do soluto dada por $W = U + v$, em que **U** é a componente, segundo o eixo **x**, da velocidade do soluto induzida por um campo externo, e **v** é a componente, segundo a mesma direcção, da velocidade do soluto devida ao fluxo do meio. Em sistemas estáticos, será $v = 0$, enquanto em processos separativos de fluxo virá $v \neq 0$ (ver secção II.9).

O sinal negativo no termo de difusão indica que o transporte ocorre da zona de maior para a de menor concentração. Atendendo apenas à componente de difusão, isto é, não considerando a contribuição no transporte de massa devida a um campo externo e ao fluxo, a equação (1) assumirá a forma simplificada (2) conhecida por primeira lei de Fick, que traduz o transporte de massa por difusão molecular.

$$J = -D.\nu c/\nu x \qquad (2)$$

Em estado não estacionário, a equação geral de transporte assume a forma seguinte (*) (admitindo algumas hipóteses simplificativas, tais como a constância de **W** e de **D**) que exprime a proporcionalidade entre a variação da concentração com o tempo e a variação do gradiente de concentração com a posição (no transporte por difusão molecular) e o próprio gradiente de concentração (no transporte pela acção de um campo externo e do fluxo do solvente) [7].

$$\frac{\nu c}{\nu t} = -W\frac{\nu c}{\nu x} + D\frac{\nu^2 c}{\nu x^2} \qquad (3)$$

Considerando apenas o transporte por difusão molecular ($W = 0$) esta equação traduz a segunda lei de Fick.

A resolução pontual das equações diferenciais é, em geral, complexa, mas o recurso a várias simplificações permite obter a forma *integrada* (4) na qual a força propulsora ou impulsora da transferência ou transporte resulta do afastamento entre a condição existente e o equilíbrio.

$$\text{Velocidade de transferência ou de transporte} = \frac{\text{Força propulsora (por unidade de distância na direcção de transferência)}}{\text{Resistência (por unidade de área normal à direcção de transferência)}} \qquad (4)$$

O modelo cinético é aplicável, em geral, à cromatografia, electroforese (**), diálise, osmose inversa, ultrafiltração, separação por membrana líquida, centrifugação (**), destilação molecular e fraccionamento por fluxo e campo (Quadro 3).

Há ainda operações separativas, de não-equilíbrio, de natureza *mecânica*, que consistem na simples separação de duas fases já presentes na mistura, pelo menos em escala microscópica, através da acção mecânica de um meio sólido poroso (designadamente a filtração, a cromatografia gel e a diálise) ou do arrastamento provocado pelo fluxo de um fluido (tais como a elutrição, a flotação e o fraccionamento por fluxo e campo). Estas operações envolvem, porém, usual e concomitantemente, outros processos de tipo cinético (como a centrifugação na elutrição) ou de equilíbrio (nomeadamente a adsorção na flotação).

II.8 — Classificação quanto à natureza das forças impulsora e retardadora moleculares

Num processo de separação (em meio fluido), cada molécula de componente da mistura, em migração, pode ser considerada em movimento no interior de um fino canal ocupado por moléculas de fluido, e sujeita a duas forças, uma impulsora e outra retardadora da migração. De um modo geral, duas espécies serão separáveis se forem diferentes as correspondentes resultantes das forças impulsora e retardadora [8-10].

(*) A expressão (3) descreve uma banda de concentração (por exemplo, em cromatografia de eluição) que migra na direcção do eixo **x** a uma velocidade média **W** e sofrendo um alargamento com uma difusividade **D**. Se a banda de concentração se inicia por um pulso de espessura infinitamente fina, a solução daquela equação representa um pico Gaussiano em migração com velocidade **W** e de de variância $\sigma^2 = 2Dt$.

(**) Como exemplos, vejamos a aplicação de equações do tipo integrado da expressão (4) à separação por electroforese e por centrifugação. A velocidade de migração, em electrorese, num meio de viscosidade η, de uma partícula esférica (de raio **R** e de carag **q**), pela acção de um campo eléctrico (E), pode ser dada pela equação $v = qE/(6\pi\eta R)$, enquanto que a expressão seguinte corresponde à equação de velocidade de sedimentação, em centrifugação, de uma partícula esférica (de raio **R**, volume **V** e massa específica **d**) que, à distância **r** do centro de rotação, roda a uma velocidade angular ω num meio de massa específica ρ e viscosidade η [4]: $v = V(d-\rho)r\omega^2/(6\pi\eta R) = 2R^2(d-\rho)r\omega^2/(9\eta)$. A força propulsora é de natureza eléctrica ou centrífuga, respectivamente, e a resistência à migração é determinada pela viscosidade do meio. Duas espécies serão separáveis se apresentarem diferentes velocidades de migração, isto é, diferentes razões q/R (carga/raio) no caso da electroforese, ou, usualmente, diferentes valores de R^2d no caso da centrifugação.

Quadro 4 — **Classificação de métodos separativos segundo a natureza da força impulsora**

Força impulsora	Método separativo
Hidrodinâmica (de fluxo de eluente)	Cromatografia Extracção contínua (em contracorrente) Elutriação
Eléctrica	Electroforese Cromatografia plasma
Gravítica	Sedimentação Peneiração
Centrífuga	Centrifugação
Mecânica	Extracção descontínua
Hidrostática	Osmose inversa
Resultante de um gradiente de potencial químico	Difusão Diálise
Resultante de um gradiente térmico	Destilação Sublimação
Eléctrica+magnética	Espectrometria de massa
Eléctrica+hidrodinâmica	Electroforese contínua
Hidrodinâmica+eléctrica +magnética +hidrodinâmica +térmica	Fraccionamento por fluxo e campo

II.8.1 — Tipos de forças impulsoras

Num processo cromatográfico, em que as moléculas de solutos são arrastadas pelo fluxo de eluente, a força *impulsora* é de tipo hidrodinâmico (decorrente do fluxo de um líquido), enquanto que, num processo electroforético, em que as moléculas carregadas de soluto se movem no seio de um meio líquido estacionário pela acção de um campo eléctrico, a força impulsora é de tipo electrostático (Quadro 4). Em processos de sedimentação, aquela força pode ser de tipo gravitacional ou centrífugo. Porém, em métodos de difusão, é já de tipo osmótico (na diálise), hidrostático (na osmose inversa) ou de gradiente térmico e gravítico (na difusão térmica em solução), enquanto que na cristalização está associada à energia de rede cristalina. Na extracção líquido-líquido, descontínua, na qual, em cada andar, duas fases são postas em contacto íntimo por agitação mecânica, podendo em seguida ser transferidas mecanicamente para outros andares, a força impulsora pode ser considerada de tipo mecânico; porém, na extracção líquido-líquido contínua em que uma fase líquida se move continuamente através de outra, imiscível e de diferente densidade, a força impulsora é já sobretudo de tipo hidrodinâmico.

Obviamente, em cada processo separativo pode ocorrer uma combinação de vários tipos de forças impulsoras, nomeadamente na espectrometria de massa (forças eléctrica e magnética), electroforese contínua (forças hidrodinâmica e eléctrica) e nos métodos de fraccionamento por fluxo e campo.

II.8.2 — Tipos de forças retardadoras

As forças retardadoras podem ter carácter homogéneo ou heterogéneo [10].

As primeiras actuam sobre as partículas em meio homogéneo e são de atrito, electrostáticas e decorrentes de interacções moleculares com o solvente ou outros solutos. As de tipo heterogéneo (*) resultam da presença de uma segunda fase (com frequência estacionária) acessível às moléculas das espécies a separar; são de natureza complexa, nomeadamente de atrito, electrostáticas (na cromatografia de permuta iónica), de crivagem molecular (na cromatografia gel e na diálise, por exemplo), de difusão (na cristalização e na partição) e de sorção (presentes na cromatografia, em geral, e dependentes de vários fenómenos de distribuição dos solutos entre duas fases, regulados, por exemplo, por efeitos de inter-acções moleculares).

Existem ainda forças retardadoras com carácter não uniforme, apresentando intensidade crescente ao longo da migração. Como exemplos, podem mencionar-se gradientes de densidade na centrifugação

(*) Embora estas forças retardadoras não actuem directamente em oposição às de tipo impulsor, o seu efeito pode ser considerado como tal. Assim, dado que as moléculas de cada soluto permutam entre as duas fases, elas deixam de ficar sujeitas às forças impulsoras durante os intervalos de tempo em que permanecem na fase estacionária (sob a acção das forças retardadoras), do que resulta a retardação da sua migração.

zonal isopícnica e gradientes de porosidade na electroforese em gradiente de poro de poliacrilamia (gradiente PAGE); devido ao aumento progressivo da resistência à migração, ao longo desta, as bandas dos componentes em separação podem acabar por imobilizar-se (quando as forças retardadoras igualarem as impulsoras), apresentando estas técnicas um carácter auto-limitante.

De um modo geral, a separação dos componentes de uma amostra resulta da acção selectiva a que ficam sujeitos pela acção quer das forças impulsoras, quer das retardadoras ou da sua combinação (*).

II.9 — Classificação quanto às condições de fluxo e à orientação e localização da força impulsora

Qualquer separação implica deslocamento de, pelo menos, algum ou alguns dos componentes de uma amostra, o qual pode ser constituído por duas componentes:

— *Deslocamento global* ou de fluxo, não selectivo, devido ao movimento do próprio meio fluido em que os componentes se encontram.

— *Deslocamento relativo,* que pode apresentar carácter selectivo, devido à acção de forças que levam à migração dos componentes relativamente ao seu meio. Estas forças (que não incluem as difusivas devidas a gradientes de concentração, em geral de importância secundária e de efeitos de mistura) podem agrupar-se em dois tipos:

forças contínuas (impostas por campos ou gradientes externos) e *forças descontínuas* (originadas em interfases, como a adsorção).

Dado que em qualquer método separativo devem ocorrer deslocamentos relativos, os quais são devidos a estes dois tipos de forças, é possível agrupar os processos separativos nas duas classes correpondentes: métodos *de força contínua* (**c**) ou *descontínua* (**d**). São ainda conhecidos alguns métodos, embora raros (tal como a electrodiálise), de carácter misto, em que apresentam papel importante estes dois tipos de forças (**c d**) A classificação apresentada foi proposta por J. C. Giddings [7].

Embora o deslocamento global dos componentes de uma mistura, devido ao fluxo do fluido em que se incluem, apresente um carácter não selectivo, da sua aplicação num método separativo pode resultar um aumento da acção separativa. Assim, tem interesse a consideração dos dois grupos gerais seguintes de métodos separativos: *estáticos* (sem fluxo, **S**) e *de fluxo* (**F**), correspondentes a $v=0$ e $v\neq0$ (equação 1), respectivamente. No segundo grupo incluem-se apenas os métodos em que o fluxo desempenha um papel activo no processo separativo, excluindo-se aqueles que apresentam só fluxos parasitas (corrente de convecção, fluxo electroosmótico) e passivos (tal como a electroforese de cortina).

Os métodos de fluxo podem ser sub-classificados atendendo à orientação relativa da força impulsora e do fluxo: métodos de *fluxo paralelo,* F(=), e de *fluxo perpendicular,* F(⊥).

No Quadro 5 são indicados exemplos de métodos separativos agrupados segundo os critérios mencionados.

Nos sistemas de fluxo paralelo, este fluxo apenas transporta os solutos num gradiente selectivo [métodos F(=)c] ou na direcção de um meio selectivo [sistemas F(=)d] (designadamente uma membrana permeável apenas a alguns solutos que são arrastados pelo fluxo através da mesma).

Porém, nos sistemas de fluxo perpendicular, é criada uma nova direcção de migração, de comprimento variável, ao longo da qual pode ocorrer a separação. A selectividade desta resulta de um enriquecimento, de cada componente, segundo a direcção da força impulsora primária, sendo, no entanto, o processo separativo ampliado pelo fluxo segundo a direcção perpendicular, de tal modo que de fracos processos de enriquecimento primário podem resultar eficientes separações na direcção perpendicular.

O poder separativo de um método de separação pode ainda variar largamente com a aproximação do equilíbrio (*).

(*) Assim, por exemplo, na cromatografia, as forças impulsoras (hidrodinâmicas) devidas ao fluxo de eluente são semelhantes para as moléculas de todos os componentes, resultando a separação destes, fundamentalmente, das diferentes acções de retenção pela fase estacionária. Pelo contrário, em electroforese, as forças impulsoras (de tipo electrostático) apresentam já selectividade relativamente às espécies a separar (influência da sua carga eléctrica); nesta técnica, as forças retardadoras (de atrito) podem também apresentar alguma acção selectiva dado que dependem das dimensões das moléculas em migração.

(**) Assim, nos métodos **S c**, tais como a electroforese e a centrifugação, o poder separativo anular-se-ia com a aproximação do equilíbrio: as espécies acumular-se-iam e misturar-se-iam junto aos eléctrodos ou às paredes do rotor, respectivamente. É, no entanto, possível evitar esta mistura recorrendo a um **gradiente secundário,** nomeadamente um gradiente de pH em electroforese (focagem isoeléctrica) ou um gradiente de densidade na sedimentação isopícnica.

Quadro 5 — **Classificação dos métodos separativos segundo as condições de fluxo e a orientação e localização da força impulsora**

Condições de fluxo	Forças contínuas (c)	Forças descontínuas (d)
Estático (S)	Sc	Sd
Paralelo [F(=)]	F(=) c	F(=) d
Perpendicular [F(⊥)]	F(⊥) c	F(⊥) d

Sc — Electroforese, precipitação electrostática, sedimentação, centrifugação isopicnica.
Sd — Extracção simples, sublimação, diálise, adsorção, cristalização.
F(=) c — Electroforese em contracorrente, elutriação.
F(=) d — Filtração, ultrafiltração, osmose inversa, diálise sob pressão, fusão de zona.
F(⊥) c — Fraccionamento por fluxo e campo, métodos termogravimétricos.
F(⊥) d — Cromatografia, destilação fraccionada, distribuição em contracorrente, fraccionamento por espuma, flotação, adsorção, cristalização.
cd — Electrodiálise, electrólise.

II.10 — Classificação quanto à forma do parâmetro de separação

II.10.1 — Quociente de separação

Designa-se por quociente de separação (**) entre dois componentes a separar, a razão de um par de valores (correspondente aos mesmos componentes) de uma propriedade física (ou de um grupo de propriedades físicas) crítica na determinação do grau de separação. A natureza da propriedade em apreciação acima referida, e a forma do quociente de separação correspondente constituem um critério de classificação dos métodos separativos, exemplificados no Quadro 6 [11].

Assim, em processos de equilíbrio bifásicos (extracção líquido-líquido, adsorção, absorção gasosa, etc.), o coeficiente de distribuição constitui o parâmetro em comparação, sendo o quociente de separação entre dois componentes, **2** e **1**, dado pela razão entre os respectivos coeficientes de distribuição entre as duas fases presentes. Porém, em processos cinéticos através de um meio restritivo (membrana, por exemplo), o parâmetro conveniente para comparação é já o coeficiente de permeabilidade (na diálise, osmose ou na separação por membrana líquida controlada cineticamente) ou o peso molecular (na difusão gasosa através de um meio microporoso). Na centrifugação zonal isopícnica (em que cada componente da mistura se desloca ao longo de um gradiente de densidade até se imobilizar numa zona de igual densidade) a propriedade adequada à comparação é a massa epecífica, enquanto que na centrifugação diferencial (de partículas com densidade semelhante mas diferentes dimensões ou massas) o quociente de separação se identifica com a razão das dimensões (ou das massas). As dimensões e/ou a forma constituem também os parâmetros fundamentais na filtração, peneiração, crivagem molecular, cromatografia gel e clatração.

II.10.2 — Extensão de separação

O quociente de separação, acima definido, constitui um parâmetro separativo de expressão dependente do método utilizado. É, porém, possível definir parâmetros medidores do grau de separação que sejam independentes do processo separativo, designadamente a «extensão de separação» proposta por P. R. Rony [13, 11].

a) — *Definição*

A «extensão de separação» é um índice separativo definido, para sistemas binários, como o valor absoluto do determinante de uma matriz de fracções de segregação (Y_{ij}):

$$\xi = \text{abs det} \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{vmatrix} \qquad (5)$$

(*) O quociente de separação constitui um parâmetro importante na interpretação do processo separativo correspondente, mas para a estimativa do grau de separação obtido conhecem-se parâmetros de maior interesse, designadamente o «factor de separação» com o qual aquele é, por vezes, confundido. O factor de separação, α', entre os componentes **2** e **1** presentes nas fases **j** e **i**, pode ser definido como a razão entre as suas fracções molares nas duas fases: $\alpha'_{21} = (x_{2j}/x_{2i})/(x_{1j}/x_{1i})$.

Se, em processos de equilíbrio, esta razão for tomada como a razão dos coeficientes de distribuição dos componentes entre as duas fases, o factor de separação virá idêntico ao quociente de separação. Porém, noutros processos separativos, de natureza cinética (designadamente a difusão gasosa através de uma membrana), esta identidade pode não ser verificada, apresentando o quociente de separação uma forma matemática de maior simplicidade.

sendo a *fracção de segregação* do componente **i** na região **j** definida por $Y_{ij} = n_{ij}/n_i^o$, em que n_{ij} = número de moles do componente **i** na região **j**, n_i^o = = número total de moles de componente **i** presentes inicialmente no sistema. Uma vez que $Y_{i1} + Y_{i2} = 1$, a extensão de separação será dada por $\xi = \text{abs}\,|Y_{11} - Y_{21}| = \text{abs}\,|Y_{22} - Y_{12}|$.

Obviamente, são possíveis outras formas alternativas de exprimir aquele parâmetro.

Atendendo a esta expressão verifica-se que a extensão de separação é tanto maior quanto maiores as fracções de segregação dos componentes em fases distintas (Y_{11} e Y_{22}, considerando as segregações preferenciais do componente **1** na fase **1** e do componente **2** na fase **2**) e quanto menores forem as fracções de segregação de cada componente na fase em que o outro sofreu concentração preferencial (Y_{21} e Y_{12}, na hipótese acima mencionada).

A definição do parâmetro «extensão de separação» pode ser estendida a sistemas de multicomponentes, considerando uma matriz quadrada de **n**×**n** fracções de segregação em que **n** é o número de componentes do sistema.

Esta definição apresenta, no entanto, uma dificuldade decorrente da teoria dos determinantes: se duas linhas ou colunas são idênticas, o valor do determinante é nulo; isto é, se todos os componentes do sistema forem separados excepto dois deles, a «extensão de separação» é nula. Porém, os sistemas de multicomponentes podem, em geral, ser tratados de outras formas, designadamente agrupando n−1 componentes e considerando-os como um só, ou atendendo só aos dois componentes que apresentam maior dificuldade de separação.

Uma outra dificuldade associada ao uso deste parâmetro resulta da complexidade de cálculo em sistemas de multicomponentes. Ele dá, porém, uma informação mais directa sobre o grau de separação atingido do que o quociente de separação, α, já considerado.

O parâmetro «extensão da separação» pode ainda ser considerado como um *índice de separação universal*, dado que apresenta as seguintes características:

É aplicável a qualquer tipo de sistema separativo e a qualquer perfil de concentração (gaussiano ou não); é normalizado ($0 \leqslant \xi \leqslant 1$, correspondendo o valor zero à separação nula e o valor unitário à separação máxima); é invariante a uma permuta de índices; é adimensional; permite definir novos con-

Quadro 6 — **Classificação de métodos separativos atendendo ao quociente de separação**

Propriedade	Quociente de separação (α)	Método separativo
Coeficiente de distribuição (equilíbrio)	K_2/K_1	Extracção, separação por membrana líquida, cromatografia, adsorção, absorção gasosa, fraccionamento por espuma, cristalização, fusão de zona, destilação, sublimação
Coeficiente de difusão	D_2/D_1	Difusão
Coeficiente de permeabilidade	$\frac{\overline{P}_2}{\overline{P}_1} = \frac{K_2D_2}{K_1D_1}$	Diálise, osmose, osmose inversa, separação por membrana líquida (controlada cineticamente)
Mobilidade eléctrica	μ_2/μ_1	Electroforese
Razão carga/massa	$\frac{q_2m_1}{q_1m_2}$	Espectrometria de massa, precipitação electrostática
Massa específica	ρ_2/ρ_1	Centrifugação zonal isopícnica
Peso molecular	M_2/M_1	Centrifugação diferencial, difusão gasosa através de um meio microporoso, separação em jacto
Velocidade terminal de queda	v_{t2}/v_{t1}	Sedimentação, centrifugação
Razão pressão de vapor/(peso molecular)$^{1/2}$	$\frac{p_2^o\sqrt{M_1}}{p_1^o\sqrt{M_2}}$	Destilação e sublimação moleculares, liofilização (controladas cineticamente)
Dimensão e forma	a_2/a_1	Peneiração, filtração, crivagem molecular, cromatografia gel, clatração, centrifugação diferencial

ceitos, designadamente a «função-amplificação» e o «factor de amplificação máxima» (ver adiante); permite optimizar alguns parâmetros separativos e estabelecer um método de classificação dos processos separativos bem como um critério de comparação entre estes (através dos valores dos «factores de amplificação máxima»).

b) — *Cálculo geral e classificação dos processos separativos*

O processo geral de cálculo [11] da «extensão de separação» é baseado na integração da equação geral de conservação de massa que pode ser expressa sob a forma $\nu c_i/\nu t = -\nabla . N_i + R_i$, sendo $\mathbf{c}_i$ a concentração (mole cm^{-3}) do componente **i**, $\mathbf{N}_i$ o seu fluxo molar (mole cm^{-2} s^{-1}), e $\mathbf{R}_i$ a velocidade molar de produção ou consumo do mesmo componente (devido, por exemplo, a uma reacção química, mole cm^{-3} s^{-1}).

O número de moles do componente **i** na região **j**, n_{ij}, pode então ser calculado por integração da equação anterior em ordem ao volume da região **j**, V_j, e, em seguida, em ordem ao tempo (até t_j, tempo correspondente à duração da separação); de modo análogo, o número total de moles do componente **i** no sistema, n_i^o, pode ser estimado através da integração estendida ao volume total do sistema, V, e a um tempo (t) suficientemente longo para permitir o cálculo pretendido. Simplificando as equações obtidas, por aplicação do teorema da divergência de Green, e atendendo à definição da «fracção de segregação» do componente **i** na região **j**, a extensão de separação, ξ, vem dada pela expressão seguinte:

$$\xi = \text{abs}\left[\frac{\int_o^{t_j}\iint_{S_j} N_1 dSdt - \int_o^{t_j}\iiint_{V_j} R_1 dVdt}{\int_o^{t}\iint_{S} N_1 dS \quad \int_o^{t}\iiint_{V} R_1 dVdt} - \frac{\int_o^{t_j}\iint_{S_j} N_2 dSdt - \int_o^{t_j}\iiint_{V_j} R_2 dVdt}{\int_o^{t}\iint_{S} N_2 dSdt - \int_o^{t}\iiint_{V} R_2 dVdt}\right] \qquad (6)$$

Esta equação indica claramente a natureza dinâmica do processo separativo que pode resultar quer de diferenças no transporte de massa (termos em N_1 e N_2) quer da ocorrência de uma reacção química de degradação selectiva (termos em R_1 e R_2). Apresenta, porém, elevada complexidade, embora seja susceptível de simplificações a introduzir para cada grupo seguinte de processos separativos sugerido pela mesma expressão:

— Processos transientes em que todos os componentes passam através da mesma área superficial envolvente, sendo a separação baseada em diferenças, no tempo, de concentrações. Como exemplo pode citar-se a cromatografia gás-líquido.

— Processos transientes que terminam simultaneamente para todos os componentes, baseando-se a separação na existência de diferenças de concentrações espaciais. A cromatografia em papel e em camada fina, a electroforese gel, a extracção simples num andar de equilíbrio, a distribuição em correntes cruzadas e em pseudo-contracorrente constituem exemplos deste tipo de processos.

— Processos transientes que envolvem apenas reacções químicas degradativas, designadamente a separação de isómeros ópticos por degradação biológica selectiva.

— Processos estacionários ($\nu n_i/\nu t = 0$) que envolvem simultaneamente transporte de massa e reacção química.

— Processos estacionários ($\nu n_i/\nu t = 0$) que envolvem apenas transporte de massa, tais como sistemas de andares múltiplos em contracorrente (extracção e destilação).

No Quadro 7 são indicadas as expressões finais que permitem calcular a «extensão de separação» em alguns métodos separativos.

c) — *Função-amplificação*

Em separações difíceis de efectuar, o quociente de separação assumirá valores próximos da unidade e será então mais conveniente, no estudo do processo separativo, a consideração do seu afastamento em relação à unidade, $\epsilon = \alpha - 1$, o qual é directamente relacionável com a extensão de separação, ξ, que é então susceptível de linearização (para valores suficientemente baixos de ϵ ,isto é, quando $\epsilon \rightarrow 0$)· $\xi =$ [função de variáveis físicas]. ϵ, em que tal função é designada por *função-amplificação*, sendo dada pelo limite, quando $\epsilon \rightarrow o$ ($\alpha \rightarrow 1$), de $\nu\xi/\nu\epsilon$.

Esta função é susceptível de optimização, determinando o zero da sua derivada com respeito à variável física apropriada e substituindo-o então na expressão daquela função. Os valores optimizados são

Quadro 7 — **Extensão de separação (ξ) em alguns processos separativos** (a)

Processo separativo	Extensão de separação (ξ)
Equilíbrio em andar simples	$\text{abs}\left[\frac{1}{1+K_1}-\frac{1}{1+K_2}\right]$
Distribuição em contracorrente com andares discretos de equilíbrio (distribuição binominal)	$\text{abs}\left[\sum_{r=0}^{r_c}\frac{N!}{(N-r)!\,r!}\left[\frac{K_1^r}{(1+K_1)^N}-\frac{K_2^r}{(1+K_2)^N}\right]\right]$
Distribuição em contracorrente contínua, sem refluxo	$\text{abs}\left[\frac{1}{1+\dot{K}_1^n}-\frac{1}{1+\dot{K}_2^n}\right]$
Distribuição em contracorrente contínua a refluxo total	$\text{abs}\left[\frac{1}{1+\dot{K}_1^{n+m-1}}-\frac{1}{1+\dot{K}_2^{n+m-1}}\right]$
Cromatografia de eluição	$\frac{1}{2}\,\text{abs}\left[\text{erf}\,\frac{z_c-v_{2eff}t}{\sigma_2\sqrt{2}}-\text{erf}\,\frac{z_c-v_{1eff}t}{\sigma_1\sqrt{2}}\right]$

a) K — Coeficiente de distribuição para um sistema fechado (mole/mole).

$\dot{K}$ — Coeficiente de distribuição para um sistema aberto [mole. seg^{-1}/(mole. seg^{-1})]

r — Número do andar. r_c — Número do tubo no ponto de corte (ver adiante).

N — Número de andares discretos.

n — Número de andares equivalentes na secção de extracção.

m — Número de andares equivalentes na secção de lavagem.

erf(x) — Função do argumento x, dada por $\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x e^{-\theta^2}d\theta$, sendo θ a variável de integração.

r_c — Ponto de corte (na direcção axial) entre dois picos de eluição, definidor das duas regiões de separação.

Quadro 8 — **Factores de amplificação máxima para alguns processos separativos** (a)

Processo separativo	Factor de amplificação máxima
Equilíbrio em andar simples	0,25
Distribuição em contracorrente com andares discretos de equilíbrio (distribuição binominal)	$0{,}20\sqrt{N}$
Distribuição em contracorrente contínua, sem refluxo	0,25 n
Distribuição em contracorrente contínua a refluxo total	0,25 (n+m−1)
Cromatografia da eluição	$0{,}10\,(v_m t/\sigma)$
Fraccionamento por fluxo e campo eléctrico	$0{,}15\,(v_m t/\sigma)$

a) N — Número de andares discretos. n — Número de andares equivalentes (na zona de extracção). m — Número de andares equivalentes na zona de lavagem. v_m — Velocidade (molar) da fase móvel. t — Tempo. σ — Desvio padrão.

designados por *factores de amplificação máxima*, sendo exemplificados no Quadro 8. Em geral, quanto maior for o factor de amplificação máxima, maior será a extensão de separação máxima, ξ_{max}, podendo a razão ξ_{max}/ϵ ser aplicada na comparação dos vários processos separativos.

Verifica-se então que as técnicas separativas mais poderosas são de tipo contracorrente de andares múltiplos, cromatográficas, e de fraccionamento por fluxo e campo (eléctrico), as duas últimas apresentando extensões de separação semelhantes para idênticos valores de $v_m t/\sigma$. Os sistemas de distribuição em contracorrente contínua têm maior poder separativo do que os de tipo discreto, para idênticos números de andares equivalentes (n) e de extracções discretas (N).

III — Comentários finais

A acentuada complexidade e a ampla variedade de métodos separativos conhecidos têm constituído pretexto para o aparecimento de inúmeros tipos de classificação e, simultaneamente, não têm permitido o estabelecimento de um só critério de reconhecido interesse geral.

São, no entanto, já conhecidos critérios de larga aplicação e com valor interpretativo dos processos envolvidos; podem ser baseados em parâmetros que caracterizam estes métodos e, através da definição de um índice normalizado de carácter universal («extensão de separação») foi proposto um método geral de comparação da acção separativa dos vários processos; a proliferação destes conduzirá, possivelmente, ao estabelecimento de novos tipos de classificação, porventura de carácter politético.

REFERÊNCIAS

[1] R. R. SOKAL, *Science*, 1974, *185*, 1115.

[2] W. G. PFANN, *Separation Science*, 1966, *1*, 1.

[3] C. J. KING, *Separation Science*, 1974, *9*, 493.

[4] A. J. L. POMBEIRO, «Técnicas e Operações Unitárias em Química Laboatorial», Fundação Calouste Gulbenkian, 1983.

[5] J. M. MILLER, «Separation Methods in Chemical Analysis», John Wiley & Sons, 1974.

[6] B. L. KARGER, L. R. SYNDER, C. HORVATH, «An Introduction to Separation Science», John Wiley & Sons, 1973.

[7] J. C. GIDDINGS, *Separ. Sci. Technol.*, 1978, *13*, 3.

[8] H. H. STRAIN, G. W. MURPHY, *Anal. Chem.*, 1952, *24*, 50.

[9] H. H. STRAIN, T. R. SATO, J. ENGELKE, *Anal. Chem.*, 1954, *26*, 90.

[10] C. J. O. R. MORRIS, P. MORRIS, «Separation Methods in Biochemistry», Pitman Publishing, Londres, 2.ª ed., 1976.

[11] P. R. RONY, *AIChE Symposium Series*, 1972, *68*, 89.

[12] C. J. KING, «Separation Processes», McGraw-Hill, 1971.

[13] P. R. RONY, *Separation Science*, 1968, *3*, 239; 357; 519; 1969, *4*, 493; 1970, *5*, 1; 121; *I. Chromatographic Sci.*, 1971, *9*, 350.

PLANEAMENTO ECONÓMICO EM PORTUGAL*

MARCO ANTÓNIO MONTEIRO D'OLIVEIRA**

SUMÁRIO

Este artigo descreve a situação actual do planeamento em Portugal, incluindo os seus constrangimentos internos e internacionais.

A experiência portuguesa de planeamento macro-económico remonta a 1952, quando se iniciaram os "Planos de Fomento", com a duração de seis anos, e que constituiram um ponto de referência da actividade económica.

Embora se tratasse de planos indicativos, e a sua execução sofresse largas flutuações, constituiram um conjunto de objectivos correctamente compatibilizados.

A evolução política posterior a 1974 alterou com demasiada frequência os objectivos prosseguidos, fazendo perder continuidade e coerência ao esforço de desenvolvimento.

Os sistemáticos desiquilíbrios orçamentais, e os igualmente sistemáticos saldos negativos da balança com o exterior, agravaram de forma crucial a dependência de uma situação internacional, em prolongada recessão.

O "Plano de Modernização da Economia Portuguesa", bem como o plano industrial que nele se insere, constituem o mais recente, e mais bem trabalhado programa para a recuperação da econmomia portuguesa, nos últimos anos.

Admitindo que, ultrapassada a crise internacional, os países desenvolvidos retomem uma taxa de crescimento do Produto de 3% ano, mostra a experiência dos últimos trinta anos que Portugal poderá garantir, sem dificuldade, um diferencial positivo de 2%.

Nestas condições parece razoável admitir que a Indústria acompanhe a evolução do Produto Nacional Bruto, com idêntico crescimento de 5% ano detalhando-se no presenta trabalho os efeitos sectoriais, bem como os investimentos, produtividade e emprego que daí resultam.

SUMMARY

This paper is a commented description of the standing point of the planning in Portugal, its domestic constrains and the international frame of reference.

Since 1952 till 1974 Portugal had medium term (6 years) development plans, which acted as guide lines of the economic activity.

For the last eleven years the weak stability of the Governments, the frequency of the polls, and the change of majorities in the Parlament disrupted the consistance of the economic targets.

The international recession stressed a small and open economie as the Portuguese one, and biased the trade balance.

The growing deficits, the unemployment and the inflation converged to reduce personal income.

The "Plano de Modernização da Economia Portuguesa" is the most recent attempt to overcome the situation towards the unpostponable recovering.

The ten years plan for industry is another contribution in order to define the main structural changes and the feasable evolution within the economic development.

A 5% growth rate to the Gross Domestiv Product and a similiar rate to Industry is the basic assumption of this study.

It assumes a 3% growth rate to the developed countries and a traditional gap of 2% growth rate that the Portuguese economy was able to keep for the last 30 years.

All the associated variables like investment, productivity and employment were estimated.

1. ANTECEDENTES INTERNACIONAIS

O Planeamento Económico, quer como ramo da Ciência, quer como regra disciplinadora, ou apenas referência para a actividade económica, só ganhou aceitação generalizada depois da segunda guerra mundial.

Efectivamente os planos quinquenais da U.R.S.S. das décadas de vinte e trinta, sendo fundamentalmente

---

* Conferência proferida no Instituto Superior Naval de Guerra em Março de 1985.

** Engenheiro Civil, doutor em Economia Industrial.

programas de crescimento económico, penalizaram por tal forma toda uma geração, em contenções de consumo e poupanças forçadas, que o seu "mau nome" tornou a simples ideia de planeamento politicamente inaceitável.

Transformado num imenso laboratório de experiências sociais, o povo russo suportou, numa única geração, e em quase total isolamento, um processo de industrialização acelerado, fundamentalmente orientado para a produção de bens de equipamento.

Sofrendo de seguida, com a guerra, algumas dezenas de milhões de mortos, e a transferência forçada de boa parte da capacidade industrial para além dos Urais, apenas na década de sessenta a produção de bens de consumo foi promovida a objectivo prioritário, e a qualidade de vida da população aparece entre as finalidades dos Planos Quinquenais.

Em paralelo com a economia de planeamento centralizado, as economias ocidentais suportaram, ao virar da década de vinte, uma tremenda crise económica, que pôs em causa as virtudes da livre concorrência e a convicção do equilíbrio providencial da oferta e da procura.

Também neste caso a guerra veio juntar às ruinas de uma teoria, a destruição material de quase todo o continente europeu.

É no duro esforço de guerra que surge pela primeira vez a "gestão por objectivos".

A exigência de uma mobilização total de recursos obrigou à coordenação das suas utilizações, hierarquisadas por metas prioritárias.

O planeamento é parte indispensável de uma economia de guerra.

Entre as várias soluções de política económica, sempre possíveis, a escolha teve de ser feita em ordem a objectivos militares bem definidos, insusceptíveis de contestação.

Quando a guerra terminou, o planeamento macro-económico entrara nos hábitos e no pensamento dos dirigentes políticos.

Em simultâneo os refugiados europeus que regressaram da América, onde se tinham exercitado em novas formas de gestão, procuraram adaptar essas ideias à recuperação dos seus países.

A primeira geração de computadores, então surgida, veio completar a situação, aumentando várias vezes as possibilidades de tratamento matemático de modelos económicos, que puderam assim crescer quase sem limites.

A França, a Holanda, e depois todos os outros países do Mercado Comum, foram adoptando planos quinquenais, tornando o planeamento quase indispensável a qualquer país responsávelmente gerido.

2 - O CASO PORTUGUÊS

A situação em Portugal, nas décadas de vinte e trinta, evoluíra em paralelo com a dos outros países europeus, em que se instalaram regimes autoritários, que responderam à crise internacional com a adopção de políticas económicas nacionalistas.

Retomando a Escola Histórica Alemã do século anterior, o centro da Europa aprofundou diferenças nacionais, ressuscitou rivalidades antigas, retomou conflitos fronteiriços.

O socialismo nacionalista alemão, e o corporativismo de estado italiano, com o ímpeto de nacionalidades recentes, impuseram militarmente as suas soluções aos estados vizinhos.

Mais perto da solução italiana que da alemã, Portugal teve de confrontar-se com um regime socialista instalado em Espanha, declaradamente internacionalista e tradicionalmente inserido no iberismo.

Ainda que com alguns atropelos à livre concorrência, e algumas manifestações de capitalismo de estado, a solução portuguesa respeitou quase sem excepção a propriedade privada dos meios de produção. A intervenção do Estado limitou-se, nesta época, à promoção da poupança e sua concentração em áreas restritas da actividade privada.

Terminada a guerra com a derrota dos regimes autoritários, Portugal esbate as formas mais evidentes do seu próprio autoritarismo, em ordem a uma melhor aceitação internacional, embora garanta total apoio ao regime que conseguira ver instalado em Madrid, e se encontrava internacionalmente isolado.

O intervencionismo passa a fazer-se indirectamente, através dos grupos económicos, entretanto criados, enquanto o neocapitalismo keynesiano é rejeitado, por doutrinariamente heterodoxo.

Melhor sorte teve o planeamento, oficialmente aceite como forma de melhorar a gestão pública e a coordenação da actividade privada, ainda que, numa caricatura de diferenciação ideológica, os planos não fossem quinquenais mas hexenais.

A partir de 1952 e até 1974, os chamados Planos de Fomento vão-se sucedendo, sem grandes consequências sobre a condução da política económica, que continuava a ser discricionária e conformada aos modelos clássicos.

Entretanto sucessivas gerações universitárias passam pelos serviços do Plano, aprendendo a realidade económica portuguesa, que analisam e diagnosticam, ganhando experiência de planeamento, ainda que limitada aos aspectos conceptuais.

A execução dos Planos já é matéria mais controversa, contestada em diversas sedes de poder, na tradicional guerra de competências.

Também aqui alguma coisa se aprendeu com o planeamento, no processo do compromisso e das soluções

possíveis, por entre os jogos de interesses e rivalidades de poder.

Assim se chegou a 1974, sabendo planear, e ao mesmo tempo com a experiência das dificuldades institucionais que se opõem a qualquer plano.

☆

☆ ☆

O planeamento posterior a 1974 quase não tem história, pela sua apagada e inconsequente presença na política económica portuguesa.

Depois de uma tentativa de planear o ano económico de 1977, utilizando um modelo matemático que durante alguns anos se vinha a ensaiar no Departamento Central de Planeamento (*), a primeira desvalorização discreta do escudo, em Fevereiro desse ano, precipitou o processo inflaccionista, subvertendo os parâmetros de referência.

Seguiu-se, em Junho de 1977, a publicação de um Plano de Médio Prazo, que deveria pautar o processo económico no quadriénio 1977-80.

As vicissitudes da política portuguesa dessa época, suficientemente recente para não necessitar de ser recordada, inviabilizaria só por si, como de facto inviabilizou, uma governação minimamente coerente.

O segundo choque petrolífero, em 1979, cujos efeitos se fizeram sentir a partir de 1980, produziu alterações estruturais profundas nos processos produtivos das economias mais desenvolvidas que, se entre 1973 e 1979 mantiveram as preocupações centradas nos equilíbrios com o exterior, penalizando os consumos internos, a partir de 1981 procuraram ajustamentos mais profundos que superassem as vulnerabilidades energéticas, sem prejuizo da recuperação e relançamento da actividade económica, estagnada havia quase um decénio.

O ano de 1983 parece ter sido o da viragem, em que uma recuperação várias vezes anunciada e outras tantas adiada, ganhou finalmente consistência, que o ano de 1984 pareceu confirmar.

Em Portugal também parece ter-se conseguido, na mesma data, travar um processo de deterioração, que ano após ano se vinha agravando.

Um Plano Conjuntural de Emergência, para contenção da produção não exportável, seguido de um Plano de Modernização da Economia, que garanta ao aparelho produtivo o acertar do passo com os seus congéneres europeus, foram os instrumentos essenciais da nossa política económica.

O Plano de Modernização, a que se refere o capítulo seguinte, considera predominantemente a situação conjuntural nos próximos meses, mas também perspectiva a curto, médio e longo prazo, fortemente condicionado pelo enquadramento internacional.

Como aplicação sectorial deste plano, apresenta-se no último capítulo uma previsão da Indústria Transformadora Portuguesa em 1995.

Estando em revisão o Plano Energético Nacional, e em acabamento o Plano Mineiro Nacional, não é possível antecipar-lhes as conclusões, mas pensa-se ser possível, dentro de alguns meses, elaborar um plano para a globalidade da indústria.

Não se conhece mais nenhuma concretização do Plano de Modernização da Economia, nem no Ministério da Indústria se tinha ainda levado tão longe a análise prospectiva, que aliás há intenção de prosseguir, fazendo rolar o ano terminal, de maneira a manter sempre o horizonte de 10 anos.

Seria desejável que outros sectores de actividade acompanhassem este esforço, nomeadamente a Agricultura e o Comércio, que completariam e eventualmente poderiam corrigir as previsões da Indústria.

3 - PLANO DE MODERNIZAÇÃO DA ECONOMIA PORTUGUESA

3.1 - Condicionantes conjunturais

3.1.1 - *Contexto Internacional*

A mais recente e talvez a mais importante característica do actual processo económico é a sua internacionalização.

Esta tendência, esboçada na década de vinte, com o aparecimento das primeiras empresas multinacionais. ganhou nova dimensão depois da última guerra, quando ao relacionamento económico se acrescentaram compromissos marcadamente políticos.

O processo iniciou-se formalmente nos anos 50, quando a Itália e a Alemanha aceitaram transitoriamente a liderança política da França, em troca da igualdade económica, e associando-se aos países do Benelux, assinaram em 1957 o Tratado de Roma, que criou o Mercado Comum Europeu.

Defendendo-se de uma possível marginalização, a Grã-Bretanha procurou organizar uma espécie de Europa Marítima, assinando poucos anos depois a Convenção de Estocolmo, que criou a Associação Europeia de Comércio Livre (E.F.T.A.).

As vicissitudes destas duas organizações foram o reflexo da história recente dos seus principais participantes, nem sempre correspondendo aos objectivos de livre circulação de pessoas e bens, que era a sua razão de ser. Não se poderá, no entanto, deixar de lhes creditar um saldo bastante positivo no desenvolvimento económico dos países membros.

Entretanto, enquanto na E.F.T.A. pontificava a Grã-Bretanha, que pela sua situação privilegiada desiquilibrava as decisões a seu favor, a C.E.E., com três países

(*) Oliveira, Marco A. M. — Algumas considerações sobre o Plano Económico para 1977 - TÉCNICA 440/441.

de semelhante potencial económico, ia superando as dificuldades internas, nomeadamente o antagonismo franco-alemão, acabando por elaborar uma estrutura legal de relacionamento interno, vulgarmente designada por "acquis communautaire".

No início da década de setenta é a própria Grã-Bretanha que abandona os seus parceiros de Estocolmo e, juntamente com a Irlanda e a Dinamarca, solicita e consegue a integração no Mercado Comum.

O "acquis communautaire" sofreu então um brusco empolamento, ao ter que ultrapassar a fria desconfiança com que os ingleses tradicionalmente vêem o continente europeu.

Finalmente o decénio de 80 parece ser aquele em que se irá mais uma vez engrandecer a estrutura legal da C.E.E., ao absorver, com o dualismo ibérico a mais velha de todas as rivalidades europeias.

Este processo de integração económica, que esbate confrontações e aproxima culturas, embora as procure preservar com apoios regionais, tem sobretudo a intenção de garantir aos europeus alguma capacidade de intervenção e peso negocial num mundo dominado por duas super-potências.

Efectivamente, do lado das economias de mercado, os Estados Unidos da América são de facto o poder hegemónico, condicionador da evolução dos restantes países da zona, enquanto nos países socialistas, as decisões político-económicas estão em grande parte dependentes da vontade da U.R.S.S..

No ajustamento da economia mundial a esta nova situação, as pequenas e médias potências foram niveladas pela incapacidade de, individualmente, influir no processo, sem que, em contrapartida, consigam evitar os efeitos da evolução em curso.

A recente experiência francesa de desenvolvimento autónomo, mostrou os elevados custos de uma política contra-ciclo, que, aliás, resultou num insucesso.

A opção dos países europeus orientou-se assim para a cuidada gestão das suas múltiplas interdependências, procurando prever a evolução da envolvente externa, em ordem a conseguir em tempo útil, as mais vantajosas opções de médio e longo prazo.

Tendo-se tornado internamente o mercado mais competitivo do mundo, a Europa tem procurado garantir a sua presença noutros continentes, nomeadamente onde persistem os vestígios do período colonial. Embora também aí a concorrência seja aberta, os laços culturais têm garantido vantagens aos antigos colonizadores, quer nos países africanos, quer mais recentemente nos íbero-americanos.

A condicionante norte-americana naturalmente que persiste em qualquer destas áreas, mas a evolução recente da sua economia tornou um pouco menos depressivo o quadro mundial.

Efectivamente a recuperação económica dos E.U.A. resultou de um processo de ajustamento interno, que nos seus efeitos secundários se propaga beneficamente aos seus principais parceiros comerciais, que são a Europa e o Japão.

Aquilo a que se vem chamando "Reaganomics" partiu de uma situação orçamental deficitária, que provocou forte pressão no mercado de capitais a que o Estado teve de recorrer, para obter os meios financeiros de que necessitava.

A consequente subida da taxa de juro fez afluir meios financeiros externos, que valorizaram o dólar, reforçando a remuneração de capitais.

Naturalmente que a subida do dólar melhorou a competitividade dos produtos importados, o que, num país de dimensão pequena ou média, iria desiquilibrar a Balança de Pagamentos Externos, pondo termo à recuperação. Pelo contrário, a situação hegemónica dos E.U.A. permite-lhe encaminhar um grande volume de investi-

QUADRO 1

TENDÊNCIAS HISTÓRICAS E PROJECTADAS (OCDE, MARÇO 84)
(variações percentuais médias anuais, salvo quando indicado)

	1960-1973	1974-1983	1984-1988
Estados Unidos			
PIB real	3,9	1,9	3 1/2
inflação	3,3	7,5	5
produtividade	2,0	0,3	1 1/2
emprego total	1,9	1,7	2
população activa	1,9	2,2	1 1/2
taxa de desemprego (%)	4,8	7,3	7 1/2
taxa de investimento (%)	19,4	18,0	19 1/2
Japão			
PIB real	10,1	3,6	3 1/2
inflação	5,8	5,6	1 1/2
produtividade	8,6	2,6	2 1/2
emprego total	1,4	0,9	1
população activa	1,3	1,0	1
taxa de desemprego (%)	1,3	2,1	2 1/2
taxa de investimento (%)	29,4	32,3	30 1/2
OCDE Europa			
PIB real	4,9	1,8	2
inflação	4,9	10,2	6 1/2
produtividade	4,4	2,0	2
emprego total	0,4	−0,1	0
população activa	0,4	0,7	1/2
taxa de desemprego (%)	3,0	6,8	12
taxa de investimento (%)	23,2	20,9	20
Total OCDE			
PIB real	5,6	2,2	3
inflação	4,5	8,3	5
produtividade	4,3	1,5	1 1/2
emprego total	1,1	0,7	1
população activa	1,1	1,3	1
taxa de desemprego (%)	3,2	6,2	9
taxa de investimento (%)	23,2	22,4	22

Definições: A inflação é medida pelo aumento do deflator do PIB, a produtividade é definida como o PIB real por pessoa empregada, a taxa de desemprego é consistente com as definições nacionais, a taxa de investimento é o investimento real (a preços de 1975) em proporção do PIB real multiplicado por 100.

Fontes: OCDE, Estatísticas das Contas Nacionais e da População Activa e projecções do Secretariado.

QUADRO 2

(Comissão Económica para a Europa - ONU, OUT 84)
Taxas actuais e projectadas de crescimento do P.I.B. (percentagens)

	Data de preparação	Período coberto	Economias de mercado industrializados	Economias de planeamento central	Outros países industrializados	PVDs importadores de petróleo	PVDs exportadores de petróleo
		1961-1973 1974-1983	4,2-4,8 1,8-1,9	6,7 4,0	8,5 3,5k	5,2 4,8k/	7,0 3,9k/
Banco Mundial	a/ 1983	1985-1995	2,5-5,0		(2,5-5)	(2,7-4,5/3,9-6,9)	5,3-5,8
Banco Mundial	b/ 1984	1985-1995	2,5-4,3		(4,3-2,5)	(2,8-5,2/3,2-6,3)	4,7-5,4
UNCTAD	c/ 1983	1985-2000	3,2	3,8	3,2	6,6-6,9	4,2
2Interfutures	d/ 1979	1975-2000	2,3-4,4	4,2-5,0			
DIESA	e/ 1982	1980-2000	2,6-4,0	3,5-5,2	2,6-4,0	4,6-7,0	
GLOBAL 2000	f/ 1980	1980-2000	2,5-3,7	2,5-3,0	2,5-3,7	(2,5-3,9/3,1-4,9)	4,3-6,5
FMI	g/ 1984	1985-1990	3,25			4,6	4,6
FUGI	h/ 1984	1985-1990	3,1	3,1	3,6-4,2 i/ j/	5,5	5,1

a/ Banco Mundial, **World Development Report**, 1983.
b/ Banco Mundial, **World Development Report**, 1984.
c/ UNCTAD, "Examen des objectifs de base de la troisième décennie des Nations Unies pour le Développement" (TD/B/AD.36/2).
d/ OECD,**Interfutures, 1979.**
e/ DIESA, **Examination of long-term trends in Economic Development**, 1982.
f/ **The Global 2000 Report to the President**, 1980.
g/ FMI, **World Economic Outlock**, 1984.
h/ Onishu, **Possibilities for World Development**, 1984.
i/ Austrália.
j/ Japão.
k/ 1974-1981.

mentos para sectores de elevada tecnologia e para certo tipo de actividades terciárias, enquanto as produções tradicionais, postas em situação delicada pelo acréscimo de importações, foram transferindo recursos para áreas mais evoluídas, onde as importações não conseguem competir.

A grande mobilidade laboral americana, e a criação de novos postos de trabalho em sectores de ponta, permitiu assim aproveitar a crise para uma reconversão interna, reduzindo simultaneamente o desemprego, e tendo ainda benéficos efeitos de arrastamento na economia dos países europeus e no Japão.

Entretanto os países em vias de desenvolvimento (P.V.D.) produtores de petróleo, depois de terem provocado duas crises mundiais, vieram a sofrer as consequências do excesso de produção, e consequente abaixamento de preço, que obrigou a retardar os respectivos programas de crescimento acelerado, encontrando-se num processo razoavelmente estável de desenvolvimento equilibrado.

Mais grave é a situação nos P.V.D. não produtores de petróleo, que vêem acumulando uma pesada dívida externa, ainda que privilegiassem os mercados externos e penalizassem as produções para consumo interno. Este processo, de elevados custos sociais, não impediu o crescimento de um serviço de dívida, cada vez mais penoso para as respectivas economias.

A América Latina é o paradigma desta situação, com uma organização em "cartel", que pode romper a qualquer momento o sistema financeiro internacional.

Embora haja consciência, tanto dos devedores como dos credores, que a ruptura do sistema de pagamentos a ninguém beneficia, a delicadeza da situação transmite grande insegurança à economia mundial, interligada pelas facilidades de comunicação e dependências recíprocas.

QUADRO 3

EVOLUÇÃO DO PRODUTO INTERNO BRUTO

PAÍSES E ZONAS	Taxa média anual em volume		
	1970 - 80	1981 - 82	1983 - 84
PORTUGAL	4,9	2,0	−1,0
OCDE	3,3	0,8	3,7
CEE	2,9	0,1	1,6
Pequenos países europeus	3,2	0,5	2,2

Fonte: OCDE, Historical Statistics; INE, Contas Nacionais e estimativas do D.C.P..

3.1.2 - *Estrutura Produtiva*

3.1.2.1 - Produção

O Produto Interno Bruto português tem evoluído satisfatoriamente nos últimos decénios, com uma taxa de crescimento cerca de 2 pontos acima da média da C.E.E..

O Plano Conjuntural de Emergência interrompeu esta tendência durante os últimos dois anos, reduzindo

QUADRO 4

PRODUTO DOS GRANDES SECTORES EM PERCENTAGEM DO PIB[1]

1977 - 81

SECTORES	CEE[2]	Espanha	Portugal
Agricultura, Silvicultura e Pesca	4,4	7,7	10,5
Energia[3]	6,8	3,9	1,7
Indústria Transformadora	27,2	25,2	27,9
Construção	6,8	7,8	7,1
Serviços	54,8	55,5	52,8
•Comercializáveis	40,6	44,9	40,9
•Não comercializáveis	14,2	10,6	11,9
TOTAL	100,0	100,0	100,0

Fonte: EUROSTAT, National Accounts e estimativas do DCP.

(1) - Não sendo deduzidos os serviços bancários imputados, nem adicionados os impostos ligados à importação.

(2) - Refere-se somente aos anos de 1976 e 1981.

(3) - Inclui os ramos da electricidade, gás, carvão e petróleo.

o crescimento português para valores inferiores aos do Mercado Comum.

Naturalmente que esta recessão, provocada por constrangimentos internos, terá que ser rapidamente superada pelo Plano de Modernização da Economia, com um relançamento generalizado da actividade.

Analisando sectorialmente esta actividade, verifica-se que é o sector primário que excede os níveis habituais na C.E.E. enquanto a produção de energia e os serviços estão aquém desses níveis (quadro 4).

Assim é de prever que, embora generalizado, o crescimento não seja uniforme, com manutenção da posição relativa à Indústria, crescimento moderado da Agricultura, e aceleração dos Serviços e da produção de Energia.

Nas avaliações do Produto Interno há ainda que ter em consideração a Economia clandestina ou paralela, que se estima em 10% a 20% da produção oficialmente declarada e que ocupa quinhentos mil a um milhão de trabalhadores.

Com os mais variados graus de ilicitude, desde a simples actividade não legalizada, até à marginalidade criminosa, ela tem vindo a reduzir a importância do desemprego oficialmente declarado e as restrições impostas aos rendimentos pessoais.

É de recear que a exorbitância da carga fiscal e a sua imperfeita repartição continuem a marginalizar uma boa parte da actividade produtiva, que procura na não legalização a forma mais expedita de evitar impostos ruinosos.

No que respeita à componente energética, ela tem constituído, sobretudo nos anos de fraca pluviosidade, uma enorma dependência externa, com elevados custos financeiros.

Em 1982 os Consumos de Energia Primária provieram em 82% do petróleo, em 12,7% da lenha e outros combustíveis, e apenas em 5,3% da hidroelectricidade. Estima-se que este último valor poderá descer até 4% em anos de muito fraca pluviosidade.

Acrescente-se a esta situação um cada vez maior conteúdo energético da produção, cuja elasticidade consumo de energia/produto interno passou de uma média de 0,89 no período 1966-73 para 1,54 em 1984, numa evolução inversa da que se verificou na C.E.E. em anos recentes.

Nesta evolução tem peso decisivo a Indústria, com 45% do consumo total, seguida dos transportes com 27%, enquanto os consumos domésticos estabilizaram à volta dos 18%.

QUADRO 5

ESTRUTURA E EVOLUÇÃO DO PIB POR GRANDES RAMOS DE ACTIVIDADE

SECTORES	Estruturas		Taxas médias anuais em volume	
	1977-82	1983	1977-82	1983-84
Agricultura, Silvicultura e Pescas	10,2	8,4	4,4	1,0
Indústria	27,9	29,0	4,6	- 1,0
Electricidade, Gás e Água	1,8	1,9	- 1,5	7,0
Construção	7,2	7,2	5,3	- 5,5
Serviços	52,9	53,6	3,7	- 1,4
FIBpm	100,0[a]	100,0[a]	3,6	- 1,0

Fonte: 1977 a 1980 - INE, Contas Nacionais.
1981 a 1984 - Estimativas do DCP.

(a) - Para este cálculo, não foram retirados ao PIBpm os serviços bancários imputados, nem adicionados os impostos ligados à importação.

QUADRO 6

EVOLUÇÃO DA PROCURA

COMPONENTES	Taxa média anual de crescimento em volume	
	1977 - 82	1983 - 84
Procura interna	3,6	- 7,2
Exportações	9,1	14,5
Procura global	4,4	- 2,8
Importações	6,4	- 6,8
PIB	3,7	- 1,0

Fonte: INE, Contas Nacionais e DCP.

QUADRO 7

ESTRUTURA DA OFERTA E DAS COMPONENTES DA PROCURA GLOBAL

MÉDIA 1977-82

COMPONENTES	CEE	ESPANHA	PORTUGAL
OFERTA INTERNA	77,4	85,4	71,4
IMPORTAÇÕES	22,6	14,6	28,6
PROCURA GLOBAL	100	100	100
Consumo total	60,9	68,7	59,2
Privado	46,6	59,3	49,0
Público	14,3	9,4	10,2
FBCF	15,7	17,0	20,8
Variação de existências	0,6	0,7	2,4
Exportações	22,8	13,6	17,6

Fonte: OCDE, Historical Statistics; INE, Contas Nacionais e estimativas DCP.

QUADRO 8

FBCF EM PERCENTAGEM DO PIB

PAÍSES E ZONAS	1970 - 80	1981 - 82
PORTUGAL	26,4	31,5
OCDE	22,0	20,6
CEE	21,6	19,4
Pequenos países europeus	23,3	20,9

Fonte: OCDE, Historical Statistics: INE. Contas Nacionais e Estimativas do DCP.

QUADRO 9

CONTRIBUIÇÃO DAS VÁRIAS COMPONENTES DA PROCURA PARA A EVOLUÇÃO DO PIB EM VOLUME

COMPONENTES	Estruturas		Contribuição média no período	
	1977	1984	1977-82	1983-84
Consumo privado	72,0	69,4	1,1	- 1,2
Consumo público	14,0	14,4	0,7	0,5
FBCF	26,8	24,1	1,3	- 5,1
Variação das existências	2,2	- 1,1	0,9	- 2,5
Exportações de bens e serviços	18,4	37,5	1,7	3,8
Importação de bens e serviços	- 33,5	- 44,3	- 2,1	3,3
PIB_{pm}	100,0	100,0	3,6	- 1,0

Fonte: INE, Contas Nacionais e Estimativas do DCP.

QUADRO 10

Distribuição do Emprego, por Grupos Etários (%)

Até aos 25 anos	23,0
Dos 25 aos 50 anos	35,8
Mais de 50 anos	41,2

Fonte: INE, Recenseamento Geral da População, 1981.

QUADRO 11

População Activa segundo as habilitações escolares (%)

HABILITAÇÕES	DESEMPREGADOS	EMPREGADOS
Não sabe ler nem escrever (ou sabe sem ter frequentado)	5,0	34,2
Possui ensino primário	48,2	58,0
Possui ensino preparatório e secundário	45,2	
Possui cursos médios e superiores	1,6	7,8
Total	100,0	100,0

Fonte: Recenseamento da População, 1981.

3.1.2.2 - Consumo

Desde 1974 até 1982 o consumo global cresceu sempre mais rapidamente que o produto interno, exigindo cada vez maior quantidade de bens importados.

Também para o período anterior a 1982 a Formação de Capital Fixo ocupou lugar destacado na procura global. constituindo uma percentagem do Produto Interno muito superior ao que é habitual na nossa área geográfica (Quadro 8).

Entretanto os benefícios desta orientação económica esbatem-se na irracionalidade de grande parte dos investimentos, e no seu elevado conteúdo importado.

Sendo as dificuldades das contas com o exterior a preocupação dominante do Plano Conjuntural de Emergência, a contenção da procura externa reflectiu-se directamente na Formação de Bens de Capital, que sofreu, em 1983 e 1984, quebras importantes, relativamente aos anos anteriores.

Indirectamente, também a queda do consumo privado veio afectar negativamente as intenções empresariais de investimento, reduzindo lucros e agravando expectativas.

Nos últimos dois anos apenas as actividades exportadoras poderam expandir-se, constituindo o único segmento dinâmico da Economia, quase duplicando o seu peso na estrutura de consumos [Quadro 9].

Entretanto faz-se notar que também as exportações têm uma elevada componente importada, o que não permite encarar como viável o prosseguimento da via até agora seguida no equilíbrio da Balança Comercial.

O subabastecimento em matérias primas e produtos semi-transformados, que se registou desde 1983, parece indicar um perigoso abaixamento no nível de "stocks", que haverá que reconstituir antes que comecem a verificar-se ruturas no processo produtivo.

3.1.2.3 - Recursos Humanos

Com uma população de cerca de 10 milhões de habitantes, Portugal tem aproximadamente 4,5 milhões de activos, com 20% no sector agrícola, 35% na indústria. e 45% nos serviços.

Comparativamente, a C.E.E. tem bastante menos trabalhadores agrícolas e bastante mais nos serviços, sendo semelhante a proporção de efectivos industriais.

Devido à baixa natalidade, regresso dos africanos na década de 70, e dos emigrantes na década de 80, verificou-se um envelhecimento dos activos, que em mais de 40% excedem os 50 anos [Quadro 10].

O desemprego, sem ser excepcionalmente elevado a nível europeu (≈ 10% de activos) é especialmente importante abaixo dos 25 anos, em que atinge o dobro da média nacional.

Como consequência do envelhecimento da população, desemprego juvenil, e falta de mobilidade laboral, as habilitações são bastante mais elevadas entre os desempregados do que entre os empregados [Quadro 11].

Esta situação manifestamente distorcida, parece revelar um sistema social incapaz de aproveitar os mais aptos, sacrificando-os a um imobilismo, que torna muito difícil a reconversão dos activos e das próprias actividades.

Assim, os sectores tradicionais pouco poderão fazer no sentido da sua modernização, correndo sérios riscos de obsolescência permatura, perda de competitividade, e progressiva suspensão de actividade.

3.1.2.4 - Importações e Exportações

As importações constituem uma elevada dependência externa quer quantitativa quer qualitativamente.

Efectivamente, a par de uma Balança Comercial tradicionalmente deficitária verifica-se uma grande rigidez das importações, em que mais de 50% são bens de equipamento ou matérias primas industriais, 27% são combustíveis, e apenas 7% são bens de consumo final, dos quais 3% são produtos alimentares.

Qualquer redução significativa no volume de importações significa necessariamente uma redução da actividade produtiva.

Sublinhe-se ainda o elevado conteúdo importado das exportações, nomeadamente o conteúdo em petróleo.

Este combustível, que apenas pesava em 6,7% no saldo da Balança Comercial de 1973, subiu para 61,8% do mesmo saldo em 1983 [Quadro 12].

Quanto às exportações elas têm crescido a uma taxa anual de 12%, em unidades físicas, entre 1977 e 1983.

Merecem especial referência neste processo a diversificação de produtos e de mercados. Apontam-se entre os primeiros os crescimentos verificados nos sectores de material de escritório, informática, electrónica e material de transporte. São de destacar entre os segundos a importância que adquiriram os mercados da R.F.A. e da França, que já quase igualam o do Reino Unido, tradicionalmente hegemónico [Quadros 14 e 15].

Como maior vulnerabilidade das exportações aponta-se o facto de nos sectores de "ponta" predominarem investimentos estrangeiros.

3.1.3 - *Constrangimentos Financeiros*

3.1.3.1 - Dívida Externa

O endividamento externo acumulado nos últimos 10 anos atingia, no final de 1983, cerca de 80% do Produto Interno Bruto, ou seja 14,4 x 10^9 dólares dos E.U.A., absorvendo os respectivos juros 6% do P.I.B..

Embora em valor absoluto a dívida portuguesa esteja bastante aquém das dos grandes devedores mundiais, em relação ao Produto Interno, que é um primeiro indicador de solvabilidade, Portugal é o terceiro devedor mundial, logo depois do Chile e de Israel.

Um outro indicador de solvabilidade relaciona-se

QUADRO 12

PESO DO DÉFICE ENERGÉTICO NO DÉFICE COMERCIAL

(em percentagem)

DESIGNAÇÃO	1973	1980	1983
Importações de petróleo (líquido) / Saldo da balança comercial	6,7	44,8	61,8
Importações de energia (líquido) / Saldo da balança comercial	7,6	47,0	63,8

Fonte: Direção Geral da Energia.

QUADRO 13

EVOLUÇÃO DAS IMPORTAÇÕES PELOS PRINCIPAIS GRUPOS DE PRODUTOS

GRUPOS DE PRODUTOS	Estruturas		Taxa média anual	
	1980-82	1983	1980-82	1983
PRODUTOS AGRÍCOLAS, sendo	**15,2**	**14,7**	9,6	- 10,9
Cereais	6,4	5,9	6,1	- 12,5
Sementes de oleaginosas e óleos	2,5	3,8	30,9	16,3
PRODUTOS MINERAIS, sendo	**26,6**	**28,1**	3,6	- 5,9
Combustíveis minerais	25,3	27,1	3,6	- 4,6
OUTROS PRODUTOS	**58,2**	**57,2**	5,5	- 9,7
Produtos químicos	11,2	11,7	3,3	- 4,0
Peles, couro, madeira e papel	3,2	2,9	7,3	- 10,7
Têxteis	6,2	6,6	- 6,1	- 1,6
Metais e produtos metálicos	7,2	6,3	7,4	- 21,2
Máquinas	17,4	16,0	6,0	- 17,8
Material de transporte, sendo	8,4	6,9	15,7	- 21,5
Veículos automóveis	8,4	6,8	15,4	- 22,2
Diversos	3,7	3,7	14,9	- 9,1
Aeronaves e navios	0,5	2,6	—	—
Diamantes	0,7	0,5	—	—
TOTAL DAS IMPORTAÇÕES	100,0	100,0	5,7	- 8,8

Fonte: Direcção-Geral do Comércio Externo.

QUADRO 14

EVOLUÇÃO DAS EXPORTAÇÕES POR GRUPOS DE PRODUTOS

GRUPOS DE PRODUTOS	ESTRUTURAS			TAXA MÉDIA ANUAL DE CRESCIMENTO EM VOLUME
	1970	1977	1983	1977-83
Agrícolas e alimentares	**20,9**	**16,3**	**11,6**	5,4
Conservas de peixe	3,9	2,9	1,5	2,6
Vinhos	6,9	6,5	3,8	2,9
Outros produtos alimentares	10,1	6,9	6,3	9,2
Produtos minerais e suas obras	**7,4**	**5,8**	**9,0**	18,3
Produtos químicos[a]	**6,9**	**4,8**	**6,9**	18,4
Produtos de madeira e de cortiça, sendo	**16,1**	**18,0**	**13,4**	6,7
Cortiça e suas obras	6,1	7,4	4,4	3,0
Pastas de papel	5,0	4,7	4,3	9,2
Têxteis e vestuário, sendo	**26,3**	**26,3**	**28,4**	11,7
Tecidos	8,3	6,8	4,5	7,0
Outros artefactos de tecidos	2,4	3,9	5,5	17,4
Vestuário	8,0	10,7	14,8	14,6
Couro e calçado	**2,1**	**3,4**	**4,6**	19,2
Metais e produtos metálicos	**4,3**	**4,9**	**4,7**	14,7
Máquinas, sendo	**7,3**	**11,3**	**11,4**	17,7
Máquinas industriais, escritório e informática	2,6	4,6	5,5	20,7
Material de transporte terrestre	**0,9**	**0,8**	**3,0**	46,7
Diversos[b]	**2,7**	**3,9**	**5,3**	17,5
Aeronaves, navios e diamantes	**5,1**	**4,6**	**1,7**	—
TOTAL DA EXPORTAÇÃO	100,0	100,0	100,0	11,6

Fonte: Direção-Geral do Comércio Externo

(a) Inclui, desde 1981, os hidrocarbonetos e seus derivados.

(b) Inclui, desde 1981, as matérias plásticas artificiais.

QUADRO 15

ESTRUTURA DAS EXPORTAÇÕES PELOS PRINCIPAIS DESTINOS

PAÍSES OU ZONAS DE DESTINO	1970	1980	1983
CEE,[a] sendo	**42,2**	**55,0**	**58,9**
Reino Unido	20,4	14,8	14,8
França	4,7	10,6	13,6
R.F.A.	6,3	13,5	13,4
Holanda	2,8	4,7	6,4
Itália	3,1	5,7	4,1
Bélgica-Luxemburgo	1,6	3,1	3,7
EFTA,[a] sendo	**12,3**	**13,9**	**10,7**
Suécia	5,3	4,5	3,4
Suiça	2,1	4,5	2,6
EUA	**8,7**	**5,7**	**6,0**
OPEP	—	—	3,6
PAÍSES DE ECONOMIA PLANIFICADA	**0,8**	**2,0**	**1,7**
JAPÃO	**0,8**	**0,9**	**1,3**
ESPANHA	**1,6**	**3,6**	**4,0**
TOTAL	100,0	100,0	100,0

Fonte: INE, Estatísticas do Comércio Externo.

(a) Considerou-se a CEE e a EFTA com a sua composição de 1983.

com a dívida líquida, isto é, a diferença entre a dívida total e os activos líquidos (divisas estrangeiras e metais preciosos).

Devido às relativamente importantes reservas de ouro de Portugal, este indicador é bastante favorável. A dívida líquida portuguesa é pouco mais de metade da dívida total, ou seja 40% do P.I.B. (oscila com a cotação do ouro).

Em pior situação apontam-se, dentro da O.C.D.E., a Islândia e a Irlanda com uma dívida líquida de 51% do P.I.B., e a Dinamarca, que atinge 44% do P.I.B..

A necessidade de relançamento da economia, que exigirá a reformulação do aparelho produtivo, com as consequentes importações de equipamento, a par dos limitados resultados que é possível obter com uma política de incentivos à exportação devido à elevada componente importada, não permitirão a redução do endividamento externo, mas apenas a contenção do seu crescimento dentro de valores inferiores ao crescimento do Produto Interno.

Os objectivos do Plano de Modernização da Economia visam a estabilização do serviço total da dívida (juros + amortizações) em 13% a 14% do P.I.B..

3.1.3.2 - Dívida Pública

A Dívida Pública total atinge actualmente 2 x 10^9 contos, ou seja cerca de 70% do P.I.B., atingindo os juros 7% do mesmo P.I.B..

Cerca de metade desta dívida é detida por residentes, com uma taxa de juro que se situa frequentemente abaixo da taxa de inflação, o que corresponde a uma remuneração real negativa, e a uma diminuição do valor real da dívida.

Já a dívida externa sofre evolução inversa, pois a desvalorização do escudo agrava o endividamento.

A acumulação desta dívida tem resultado dos sucessivos desiquilíbrios orçamentais, que têm ultrapassado em vários anos os 10% do P.I.B., se se incluir o financiamento das Empresas Públicas. Como termo de comparação refere-se que a situação deficitária comum a todos os países da O.C.D.E., oscila entre 4% e 12% do P.I.B. dos respectivos países.

Naturalmente que estes desiquilíbrios orçamentais resultam de insuficiente receita relativamente à despesa, apesar do constante aumento do nível de fiscalidade, que subiu de 19% do P.I.B., em 1965, para 31% do P.I.B., vinte anos depois.

Com este nível de fiscalidade apontam-se os E.U.A. e a Suíça com Rendimento Nacional per capita 5 a 6 vezes o rendimento português.

Duma maneira geral, níveis de fiscalidade iguais ou superiores ao nosso só se encontram em países de muito mais elevados rendimentos, sendo de referir que dentro da O.C.D.E., a Grécia, a Espanha, o Japão e a Turquia têm fiscalidade inferior.

Em conclusão não se julga possível melhorar as receitas públicas por agravamento da carga fiscal, havendo, pelo contrário, que proceder à sua melhor distribuição, por alargamento da base tributável.

No que respeita à despesa pública, tem vindo a verificar-se um permanente agravamento, devido ao crescente serviço da dívida, e apesar das despesas correntes da Administração virem a ser sistemáticamente comprimidas.

Na impossibilidade de aumentar a receita fiscal e considerando que, por um lado os títulos de dívida dos residentes têm rendimentos reais negativos, e por outro, que há limites na compressão das despesas administrativas, ficarão como parcelas susceptíveis de correcção os financiamentos do Sector Empresarial do Estado, as subsidiações a diversos produtos (Fundo de Abastecimento), e os esquemas de segurança social.

3.1.3.3 - Inflação

Nos últimos 10 anos, e com a excepção de 1980, a inflação tem tido constante crescimento.

A partir de 1981 a evolução económica internacional encaminhou-se para uma desaceleração no crescimento de preços, afastando-se cada vez mais da situação portuguesa [Quadro 16].

Para a constante subida do custo de vida contribuiram diversos factores, nomeadamente o aumento da paridade do dólar, com a consequente subida do custo das importações.

Além de sofrer os efeitos da crise internacional, que naturalmente o nosso país não consegue modificar nem evitar, o processo inflacionista português tem uma enor-

QUADRO 16

EVOLUÇÃO DO IPC (taxa de variação média anual)

ANOS	PORTUGAL	OCDE TOTAL	OCDE EUROPA	CEE	ESPANHA
1979	24,2	9,8	10,6	9,1	15,7
1980	16,6	12,8	14,1	12,3	15,5
1981	20,0	10,5	12,1	11,1	14,6
1982	22,4	7,8	10,5	9,8	14,4
1983	25,5	5,3	8,2	7,3	12,2
1984*	29,0	5,0	8,0	6,3	10,5

Fonte: INE e OCDE

* Previsão

me componente de responsabilidades internas, de que se apontam como mais importantes:

— A desvalorização deslizante do escudo, como forma de garantir a competitividade das nossas exportações.

— A frequente orientação dada às empresas públicas no sentido de procurarem financiamento no exterior, em ordem a aliviar a pressão interna sobre o mercado de capitais.

— O crescente endividamento do Fundo de Abastecimento e do Fundo de Garantia de Riscos Cambiais, apesar da sua situação actual já ser de evidente insolvência.

A orientação das autoridades económicas, sempre preocupadas com questões pontuais e soluções casuísticas, tem vindo a disfarçar e diluir, através da Banca Nacionalizada, os comprometedores efeitos das decisões tomadas.

Ainda que a orientação seguida permita retardar subidas de preços, a parcela de custos financeiros absorvida pela Banca, suficiente para lhe prejudicar a solvabilidade não evita, e por vezes até potencialisa efeitos agravados de médio prazo.

Os vários expedientes a que se tem recorrido, no sentido de resolver problemas conjunturais, acabaram por tornar muito pouco transparente o processo inflacionista português.

Actualmente parece inadiável garantir a convergência das políticas cambial e monetária, até agora disputando entre si a prioridade dos equilíbrios externo e interno.

Em simultâneo será necessário um persistente esforço de alguns anos, no sentido de sanear os organismos intervenientes no processo, a exigirem, todos eles, uma profunda reorganização estrutural.

3.2 - O Mercado Comum como condicionante de curto prazo

A economia portuguesa apresenta um razoável grau de abertura ao exterior, e desde a década de 60 habituou-se a competir nos mercdos internacionais. No entanto, a integração no Mercado Comum Europeu irá exigir uma sensível aceleração de actividade, baseada numa informação permanentemente actualizada sobre novas tecnologias e potenciais mercados, em ordem ao aproveitamento das oportunidades, que, num alargado espaço económico poderão vir a reforçar as nossas vantagens comparativas, ou atenuar as situações de desvantagem.

As intervenções do Estado passarão a ser indirectas, como árbitro e garante de regras, dinamizador de iniciativas, redutor de incertezas, deixando as acções de promoção directa, ou de subsidiação, para os organismos europeus, para tal vocacionados.

Entre estes há a destacar:

— Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional — F.E.D.E.R. — que financia a fundo perdido políticas de investimento em zonas desfavorecidas.

— Fundo Europeu de Orientação e Garantia Agrícola — F.E.O.G.A. — que financia a modernização da produção e comercialização da agricultura e pescas.

— Fundo Social Europeu — que financia a criação de emprego, formação e mobilidade profissionais.

— Banco Europeu de Investimentos — que financia o desenvolvimento regional e a modernização empresarial.

A utilização destes instrumentos financeiros exige a preparação de projectos, capazes de se candidatarem e merecerem a aprovação nos órgãos de decisão da C.E.E.

A par da qualidade dos projectos, há que garantir uma participação nacional de 50%, sem o que não será possível utilizar financiamentos a juro privilegiado, e muitos menos a fundo perdido.

O aproveitamento destas novas possibilidades obrigará certamente a revisões orçamentais, quer no sector público, quer na actividade privada, em ordem a encaminhar para o país um caudal de recursos financeiros superior ao que inevitávelmente se formar no sentido inverso. Esta será a única via de nos tornarmos beneficiários líquidos da C.E.E., e não seus contribuintes líquidos.

Finalmente convém sublinhar, que com a livre circulação de capitais e trabalhadores, e a liberdade de estabelecimento, deixa de ser possível a reserva de mercados, incluindo os Mercados Públicos, que passarão a ser acessíveis a quaisquer empresários da Europa dos Doze. Grandes obras públicas, ou mesmo os abastecimentos correntes da administração, passarão a ser objecto de uma alargada concorrência, apenas limitada pelas fronteiras comunitárias.

Dentro de uma sã competição, haverá ainda a considerar que o Sistema Monetário Europeu se irá opor a políticas cambiais, que levem a desvalorizações concorrenciais, ou orientações financeiras de que resultem preços artificiais.

3.3 - A Situação Internacional como condicionante de médio e longo prazo

Embora o Mercado Comum Europeu constitua um poderoso agrupamento económico, capaz, por si só, de inflectir tendências da economia mundial, a sua limitada integração e escassez de recursos naturais mantêm-no na dependência dos E.U.A., que conserva assim o lugar hegemónico, entre as economias de mercado.

Nestas condições, o relançamento de actividade, iniciado na América do Norte, reflectiu-se positivamente na Europa, e uma eventual quebra desse dinamismo, terá efeitos negativos, de difícil superação.

Naturalmente que também a C.E.E. procura diversificar as ligações económicas, estreitando relações com a África, América Latina, e Europa de Leste. A multiplicidade de dependências parece ser actualmente a melhor aproximação possível ao objecto ainda distante, de autonomia continental, proposto aos signatários do Tratado de Roma.

Se o amortecimento dos efeitos de acontecimentos, exteriores ao espaço europeu, é possível dentro da Comunidade, e se está ao seu alcance moderar uma crise ou reforçar a recuperação, já parece mais difícil uma política contra ciclo, qualitativamente capaz de inverter tendências.

Nesta situação há que perspectivar o futuro, quer para uma retoma económica, quer para uma recessão prolongada, qualquer delas determinada por factores exógenos ao espaço europeu.

No caso de expansão é de prever para Portugal uma cada vez maior participação em actividades de "teconologia intermédia", como seja a siderurgia, petroquímica ou electromecânica, procurando os países mais desenvolvidos reservar para si os sectores de "teconologia de ponta", como a telemática, informática e biotecnologia.

Sem prejuízo das vantagens que nos forem oferecidas, que poderão aliviar as nossas dificuldades cambiais, reduzir desiquilíbrios regionais, ou mesmo facilitar a reestruturação do sistema produtivo, em ordem a um melhor aproveitamento dos recursos naturais, há que garantir posição no domínio das novas tecnologias, o que aliás já vem a ser feito.

No caso de uma recaída na estagnação económica, certamente que se enfraquecerá a solidariedade europeia, com respostas nacionais às dificuldades que forem surgindo, e uma preocupação dominante na resolução dos problemas conjunturais.

Julga-se que nestas circunstâncias Portugal também não poderá fazer mais do que adiar dificuldades, procurando efectivar as vantagens preferenciais já conseguidas no relacionamento com os países mais desenvolvidos, mas valorizando sobretudo as ligações com os países em que o nosso nível tecnológico constitua vantagem comparativa.

4 - A INDÚSTRIA TRANSFORMADORA PORTUGUESA NO PRÓXIMO DECÉNIO

4.1 - Enquadramento Macro-económico

As previsões da evolução da indústria portuguesa no próximo decénio inserem-se numa expectativa optimista da situação internacional.

Efectivamente é impossível antever uma prolongada recessão mundial e as suas repercussões no espaço económico português. Em tais circunstâncias a resposta nacional será sempre a resultante dos constrangimentos que, em cada momento e em cada mercado externo, limitem a expansão económica portuguesa. O planeamento a prazo seria assim descabido, pois a primeira prioridade iria para o aproveitamento oportuno de vantagens pontuais.

Assim as perspectivas de uma nova estrutura industrial, que a seguir se desenvolvem, correspondem, a um relançamento sustentado da economia mundial, ainda que a uma modesta taxa de crescimento do produto que, para os países desenvolvidos, seria de 2% a 3% ano.

Só nestas circunstâncias é possível para a economia portuguesa taxas de crescimento anual de 4% a 5%, que já permitem uma política económica voluntarista de escolha entre várias opções possíveis.

Para uma evolução deste tipo, e considerando que a actual parcela da indústria no P.I.B. já se aproxima bastante da que é habitual em países industrializados, admitiu-se que esta proporção seria a mesma no final do decénio, ainda que, ao longo dele, pudesse sofrer oscilações.

Assim o produto industrial cresceria em paralelo com o produto global, tendo-se optado o valor de 5% ano.

Faz-se notar que uma expansão da indústria desta ordem de grandeza não se pode considerar particularmente acelerada, mesmo em Portugal. Na década de 60 e primeiros anos de 70 a indústria portuguesa cresceu entre 6% a 7% ano.

Isto significa que o valor adoptado está dentro da capacidade de resposta dos nossos agentes económicos a situações exteriores favoráveis.

O desenvolvimento deste cenário foi feito no Gabinete de Estudos e Planeamento do Ministério da Indústria e Energia, tendo-se chegado a uma pormenorização de 145 subsectores industriais.

A desagregação das taxas de crescimento, subsector por subsector, não podia naturalmente ser uniforme, mas resultou, quer de orientações de política industrial em que já se registou um largo consenso, quer do conhecimento de interdependências de actividades e seu efeito de arrastamento em sectores a montante e a juzante.

Como orientações consensoais, repetidas há vários

anos, recordam-se:

— a maximização do aproveitamento dos recursos naturais
— a modernização das indústrias tradicionais e expansão das que dispõem de tecnologia própria
— a criação de um núcleo industrial de tecnologia avançada, adequado aos recursos humanos e materiais do país.

Quanto à interdependência de actividades, considerou-se indispensável reforçar as produções nos sectores de bens intermédios e bens de capital.

Efectivamente afigura-se de enorme dificuldade reestruturar e melhorar a competitividade de sectores de bens finais, como os têxteis, o mobiliário, ou os gráficos, sem a produção interna dos corantes, tintas, vernizes ou colas, assim como da maioria da maquinaria indispensável à modernização destas indústrias.

A dependência externa que tem caracterizado a sua actividade produtiva, reduz seriamente os ganhos conseguidos com a abertura dos mercados internacionais, agravando constantemente a componente importada das exportações.

Sem se pretender seguir uma política de substituição de importações, de potencialidades limitadas numa unidade económica da dimensão de Portugal, há que reconhecer a falta de complementaridade da nossa indústria, e as múltiplas oportunidades de investimentos rentáveis nos espaços vazios do nosso tecido industrial.

Numa situação internacional que, a médio prazo, assegura, no espaço da C.E.E., o livre estabeleciomento de empresas, já não haverá muito tempo para os empresários portugueses garantirem para si, as vantagens que os outros conhecem, e se preparam para aproveitar.

O detalhe a que se chegou na desagregação do produto industrial teve, entre outras vantagens, a possibilidade de discutir com os agentes económicos, nomeadamente as associações empresariais, o realismo dos resultados obtidos, acertar potencialidades teóricas com expectativas empresariais e intenções de investimento, enfim chegar a conclusões que além de possíveis, fossem prováveis.

4.2 - O Produto Industrial

O crescimento anual do produto (Valor Acrescentado) foi fixado globalmente em 5%, com especial reforço das produções de bens intermédios (sector químico e metalúrgico) e de bens de capital (sector electromecânico).

Os sectores tradicionais de menor crescimento serão o Alimentar, o Têxtil, e os Minerais não metálicos. Não são previsíveis grandes expansões de consumo destes bens, quer interna, quer externamente. Fortes acréscimos de exportação passarão necessariamente pelo desalojar de concorrentes já instalados nos respectivos mercados.

QUADRO 17

ESTRUTURA E EVOLUÇÃO DO PRODUTO INDUSTRIAL

C.A.E. - SECTORES / ANOS	1980	1995	TAXA DE CRESCIMENTO ANUAL (1980-95)
31 - Alimentares, bebidas e tabacos	12,6	9,5	3,2
32 - Têxteis, vestuário, curtumes e calçado	22,1	15,7	2,6
33 - Madeira, cortiça e mobiliário	7,7	6,7	4,2
34 - Pasta, papel, cartão e artes gráficas	8,2	8,0	4,7
35 - Químicas	14,0	14,7	5,3
36 - Minerais não metálicos	8,1	6,1	2,8
37 - Metalurgia de base	4,4	6,9	8,3
38 - Indústrias electromecânicas	22,9	32,4	7,4
Indústria transformadora*	100,0**	100,0	5,0

* Não inclui o sector C.A.E. 39 - Transformadoras Diversas - por ter normalmente tratamento residual

** Total dos oito sectores em 1980 Esc 276 x 10^9

Julga-se prudente manter uma certa modéstia de expectativas que, mesmo assim permitam a reestruturação dos sectores.

A fileira florestal (madeira e cortiça) constitui um conjunto de sectores de crescimento intermédio. Aqui também haverá um consumo interno estagnado, mas a procura externa parece bastante dinâmica, e os nossos recursos em matérias primas asseguram-nos uma vantagem comparativa, especialmente na C.E.E..

Finalmente os sectores químico, metalúrgico e electromecânmico, irão constituir os factores de alteração qualitativa da nossa estrutura industrial.

A sua maior dinâmica deverá resultar de uma maior complementaridade interna, no apoio aos sectores tradicionais de forte vocação exportadora.

Ainda que haja recentes penetrações destes sectores nos mercados externos, isso resultou principalmente de investimentos estrangeiros, que procuraram na indústria portuguesa a complementaridade das respectivas indústrias, a menor custo.

A exigência que se põe aos nossos industriais é a utilização da tecnologia e do "know-how", que já chegou até nós, na complementaridade c a nossa indústria, como forma de garantir a existência de uma política industrial autónoma.

☆

☆ ☆

Os resultados quantificados a que se chegou foram analisados em detalhe com os agentes económicos, tendo "passado no exame". Não há conflito de intenções, nem de expectativas. Os sectores de crescimento mais modesto admitem mesmo ser possível exceder os valores propostos, que aliás são meramente indicativos. A verificar-se tal situação toda a indústria tinha a ganhar com esse dinamismo.

Além da análise detalhada junto dos empresários, procurou-se uma aferição global, em analogias internacionais.

A verificar-se o crescimento anual de 5% da Indústria Transformadora, a nossa capitação industrial, em 1995, terá um valor que se situa entre a Espanha e a Itália actuais.

Com a reserva com que é sempre necessário efectuar comparações internacionais, e tendo em consideração as especificidades portuguesas, poderá dizer-se que a estrutura industrial, pretendida para 1995, é proporcional ao nível de industrialização que se deseja, continuando nos vários subsectores a ser semelhante àqueles dois países.

QUADRO 18

EVOLUÇÃO DAS PRODUTIVIDADES SECTORIAIS

(1980-95)

C.A.E.	PRODUTIVIDADE LÍQUIDA 1980 (CONTOS)	TAXA DE CRESCIMENTO ANUAL DA P.L. (1980-95)%	PRODUTIVIDADE LÍQUIDA 1995 (CONTOS)
31	431,0	1,5	538,9
32	292,2	2,5	432,2
33	391,9	1,2	468,7
34	541,5	2,5	784,3
35	630,8	3,5	1 056,8
36	403,1	2,0	542,5
37	559,3	4,0	1 007,3
38	441,1	4,0	794,4
IND. TRANSF.	414,6	3,0	645,9

4.3 - O Investimento, a Produtividade e o Emprego

A plausibilidade dos valores obtidos para a produção industrial levou a uma extensão do exercício, procurando uma ordem de grandeza dos factores de capital e trabalho necessários à concretização deste programa.

Utilizando o coeficiente capital/produto para Indústria Transformadora (1) estimou-se o volume de novos investimentos, tendo-se obtido valores entre 500 x 10^6 milhares de escudos e 1000 x 10^6 milhares de escudos, a preços de 1980.

Não parece possível maior rigor nesta previsão, já porque o coeficiente capital/produto resultou de séries hitóricas, já porque as alterações estruturais pretendidas são, só por si, factor de distorção relativamente a essas séries.

No que se refere à produtividade e ao emprego, a incerteza dos resultados ainda é maior, e embora o racio Valor Acrescentado/Emprego venha a evoluir há vários anos, os especialistas sectoriais receiam fazer previsões, sobretudo para prazos alargados.

Os resultados adoptados, depois de laboriosas discussões, pareceram aceitáveis, com a vantagem de serem compatíveis com as desejáveis reestruturações sectoriais.

A criação de postos de trabalho, que resulta dos valores adoptados para a produtividade, é modesta, correspondendo a um acréscimo de 33% em quinze anos, o que será provavelmente a evolução normal da população activa.

QUADRO 19

EVOLUÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO SECTORIAL DO EMPREGO (1980-95)

C.A.E.	EMPREGO (1980)	EMPREGO 1995	
		VALORES ABSOLUTOS	Δ EMPR.
31	80 518	103 270	22 725
32	206 710	211 489	4 779
33	54 383	84 463	30 080
34	41 781	57 059	15 278
35	60 694	78 720	18 026
36	57 611	64 512	6 901
37	21 678	39 300	17 622
38	142 066	231 111	89 045
IND. TRAN.	667 674	888 270	220 596

Assim a indústria manterá o seu peso relativo na distribuição do emprego, não melhorando nem agravando a situação actual.

Numerosas transferências e reconversões de activos irão fazer-se internamente, a qualificação dos trabalhadores terá que melhorar bastante, e as remunerações de trabalho também poderão subir em valor real.

Entretanto as grandes modificações no mercado de trabalho terão de se fazer à margem da indústria, directamente da agricultura para os serviços, como única forma de manter a indispensável competitividade internacional.

(1) Coeficiente Capital/Produto na Indústria Transformadora — G.E.P. do M.I.E., 1983.

NOTA SOBRE PLANEAMENTO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS(*)

FERNANDO FREITAS(**)

RESUMO

Dá-se uma panorâmica dos princípios e técnicas a que deve obedecer o planeamento integrado em águas subterrâneas e dos factores que o condicionam, desde a demanda à legislação controladora da exploração e conservação dos aquíferos. Polariza-se a matéria no sentido da sua adaptação às regiões áridas dos países ditos em desenvolvimento.

ABSTRACTS

A note on the principles and techniques used in and the conditioning factors of ground water integrated planning is given, from demand to aquifer exploitation and conservation controling laws. The subject matter is polarized in the sense of its adaptation to the arid regions of the so called developing countries.

1. INTRODUÇÃO

Nos países jovens, de baixa densidade populacional, e principalmente nos tropicais e de clima árido, é evidente, mais do que em quaisquer outros países, a subordinação da ocupação do território à existência de água. A população vai-se fixando onde a natureza lhe oferece condições de sobrevivência, incluindo a água em quantidade suficiente e directamente acessível aos seus meios mais rudimentares de utilização.

Ciclos climáticos normais levam certas populações a migrar periodicamente com seus gados, e têm ensinado outras a "ir atrás da água". É o que se observa por exemplo nas transumâncias no Sudoeste de Angola; na abertura de cacimbas e poços nesta mesma região; na abertura de poços muito rudimentares nos aluviões de pequenos rios e lagoas em Gaza e Tete, Moçambique.

É tão evidente a precaridade destes métodos de abastecimento, mesmo quando se sofisticam os meios de transporte, que os responsáveis pela governação começam em geral por melhorar as técnicas tradicionais e procuram depois meios muito mais poderosos de captação.

A evolução natural dos acontecimentos leva contudo a uma situação em que:

- os locais e métodos de captação de êxito evidente esgotam-se;
- as necessidades naturais acrescidas das criadas pela evolução sócio-cultural excedem a capacidade dos meios para as satisfazer;
- as captações e respectivos sistemas de utilização multiplicam-se e exigem estrutura organizada de conservação.

Nasce assim todo um conjunto de técnicas de estudo dos recursos naturais e de meios para a sua captação e conservação. Impõe-se finalmente a necessidade de planeamento, de coordenação das acções planeadas, de legislação adequada e de projectos e estudos económicos que rentabilizem os investimentos realizados.

Este trabalho pretende oferecer uma panorâmica destas técnicas e actividades, procurando não as desenraizar do elemento básico que é a necessidade de água de populações que aí estão, fixadas à sua terra há séculos, talvez há milénios, esperando condições de acesso a níveis superiores de status social.

2. PLANEAMENTO GERAL

A estrutura de administração civil dum território, pelas funções que lhe são próprias, tem ideia da distribuição da população no mesmo território e das fontes

(*) Extraído de palestra proferida na Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil, em Setembro de 1984.

(**) Engenheiro de Minas, IST, OE, CREA, IAH, FIMM, C. Eng. Colaborador no 1.º e 2.º Cursos de Mestrado em Mineralurgia e Planeamento Mineiro.
PMP-Promotora Mineira Portuguesa, Lda.

Original recebido para publicação em 23/4/85.

para sua alimentação e actividade económica. Necessita no entanto de assessoria técnica que lhe inventarie a própria população e as referidas fontes de suporte à sua vida e actividade, por forma a poder planear a sua acção administrativa.

Executam-se assim inquéritos que, para territórios poucos conhecidos e ocupados, revestem o aspecto de recenseamento da população, localização e dimensão dos seus agregados, localização das fontes de alimentação e abastecimento de água, vias de comunicação, etc.

Recuando cerca de quarenta anos, para não ir a tempos demasiadamente longínquos em que os meios de acção e localização da população seriam muito diferentes dos actuais, pode tomar-se como modelo de tais inquéritos o que se executou no Sudoeste de Angola em 1941 [1, 1943]

Trata-se do que poderia chamar-se o estudo do ambiente regional populacional e geográfico, hoje feito com meios bem diferentes dos da década de 40 e que se consubstanciam em documentos publicados por serviços ou instituições especializados. A este estudo, indispensável no planeamento geral do aproveitamento das águas subterrâneas, há que acrescentar o estudo do ambiente geológico regional, não menos indispensável que o primeiro e actualmente também objecto de pubicação.

Com o conhecimento destes estudos prévios, pode então tentar-se a elaboração de dois documentos básicos de planeamento geral, que também poderíamos chamar estratégico:

- esboço hidrogeológico da unidade territorial em causa;
- definição de prioridades para as acções subsequentes.

Os inquéritos acima mencionados incluem a localização das fontes de abastecimento de água das populações, como se disse. De posse deste dado e interpretando-o à luz da geologia conhecida é possível tentar a elaboração de um primeiro esboço hidrogeológico que sirva de guia a estudos futuros neste campo específico da ciência aplicada.

Embora concebido e elaborado após mais de vinte anos de experiência em captações por sondagens e poços e dos primeiros estudos hidrogeológiocos sistemáticos regionais, o Esboço Hidrogeológico de Moçambique, em escala 1:8.000.000, pode servir de modelo para o que queremos significar [3, 1965].

A necessidade de planeamento resulta basicamente da exiguidade dos meios de acção em relação às carências que se pretendem satisfazer com eles. Um dos aspectos mais gerais do planeamento, e aquele em que mais fortemente se faz sentir a sua componente política, é o da definição de prioridades na satisfação daquelas carências e da alocação daqueles meios de acção.

É sem dúvida dessa forte componente política que resulta originar-se o planeamento geral nos mais altos escalões administrativos, onde se decide da alocação dos meios que justificam a necessidade de planeamento. Este vai depois ser politicamente influenciado até aos mais baixos escalões da execução. Quem, pois, tiver responsabilidades no exercício desta função bem avisado andará se tomar muito em conta as implicações políticas da mesma.

A experiência portuguesa mais recente de planeamento em águas subterrâneas em África, para não fugir aos ambientes geográficos, populacionais e climáticos a que mais se dirige este trabalho, e particularmente em Moçambique, realizou-se no âmbito de Comissões Técnicas, depois transformadas em Serviços, de Planeamento e Integração Económica (CTPIEM E SPIEM respectivamente). Os documentos básicos da acção deste organismo no planeamento em águas subterrâneas constam de:

- um primeiro trabalho de análises da situação inicial com proposta de alocação de meios para acções imediatas [4, 1966];
- proposta para criação de organismos permanentes de coordenação a nível Provincial (todo o território de Moçambique) e Distrital (então primeira unidade de divisão administrativa territorial), de uma unidade de estudos básicos de hidrogeologia (Brigada de Hidrogeologia) e de meios de conservação de captações [4, 1970].

Se se atender a que esta experiência se desenvolveu até pelo menos 1974, portanto ainda não muito longe no tempo, bem se pode admitir que muito da mesma seja hoje válido.

3. ACÇÕES A CURTO PRAZO

A realidade sobre o aproveitamento das águas subterrâneas é que a população necessita, às vezes dramaticamente, de fazer uso delas e sabe, por tradição talvez milenária, como captá-las. Mas por métodos e com ferramentas muito rudimentares. É assim nas regiões de que nos estamos ocupando, como vimos no capítulo anterior, e assim foi até há bem pouco tempo nos próprios países "desenvolvidos" de clima temperado, em que a abertura de poços, por elementos já especializados da população, se fazia a pico, pá, sarilho e balde.

Hoje, pequenos empresários da especialidade, utilizam máquinas simples de percussão e sondas bastante sofisticadas de rotação, pneumáticas, com martelo no fundo do furo.

As primeiras acções administrativas, que podemos chamar de curto prazo porque destinadas à satisfação de necessidades prementes e imediatas, não são exactamente o que se possa chamar de planeamento, embora não deixem de ser programadas. Limitam-se à melhoria dos métodos tradicionais (revestimento dos poços com

pedra ou tijolo; poços com aneis , etc.) ou à criação de serviços que introduzem meios de captação e de elevação mais evoluídos.

O desenrolar destas acções acaba por criar um problema cuja solução já deve ser objecto de planificação cuidadosa: o da conservação das captações e respectivos sistemas elevatórios e de utilização.

Neste aspecto a experiência parece provar que é fundamental começar por sensibilizar a população utente para a necessidade de conservar as captações, quer por uma adequada manipulação dos sistemas elevatórios, quer não praticando actos de verdadeiro vandalismo danificando os mesmos sistemas, quer evitando que as crianças, geralmente, introduzam pedras e outros objectos nas próprias captações quando mal protegidas, etc.

Mas, mesmo quando utilizadas cuidadosa e adequadamente, as captações necessitam ser conservadas, o que pode fazer-se por meio de unidades regionais específicas, como existia em Angola, no Mucope, Baixo Cunene, integrada no Plano de Coordenação. Mas, onde não exista organização devidamente estruturada como a deste Plano, o problema da conservação deve ser objecto de empreendimento ligado à orgânica e estruturas administrativas locais. Esta a solução que se tentou adoptar em Moçambique no princípio da década de 70 [4, 1970].

As unidades locais de conservação devem estar equipadas com o material e pessoal necessários ao exercício da sua função, e devem poder transferir para pessoas e estruturas ligadas directamente aos utentes, se não a estes mesmos, a sua função e meios materiais adequados.

Cabe aqui referência a tipo de acção que não se pode considerar de curto prazo mas que se relaciona de perto com as actividades descritas. A formação de técnicos na execução de captações por poço ou pequena sonda manual (ou accionada a pequeno motor a gasóleo) que constituam pequena empresa "artesanal" destinada à satisfação das necessidades de abastecimento locais. Este tipo de "empresa artesanal" tem condições de existência em regiões como por exemplo o Sul do Save, em Moçambique, sobre a "zona das dunas interiores e costeiras", de muitos quilómetros quadrados de superfície, nos locais onde a toalha freática é mais superficial.

4. PLANEAMENTO REGIONAL

Enquanto que as acções de curto prazo dificilmente se podem considerar de planeamento, já que estão ligadas a actividade tradicional, as de médio prazo podem e devem ser incluídas em planos cuidadosamente elaborados e executados.

À fase mais geral de definição de prioridades, que leva a seleccionar as regiões mais necessitadas de estudos de base (p. ex. polígono das secas do NE brasileiro, áreas desérticas e semi-desérticas do SW de Angola, W do Sul do Save em Moçambique), e das grandes unidades hidrogeológicas, segue-se a cartografia hidrogeológica em escalas geralmente de 1:500.000 [5] ou 1:250.000 [3 1962 (a)], conforme a dimensão das regiões seleccionadas.

A base desta cartografia, para além da geográfica e geológica que lhe estão subjacentes e que será necessário também criar se não existirem, é o inventário hidrogeológico. Este é baseado em inventário de pontos de água àcerca dos quais se colhem e registam todos os dados pertinentes e que passam a fazer parte dum ficheiro.

Em Moçambique, a partir dos fins da década de 50, criou-se um serviço de inventário hidrogeológico que utilizou cinco tipos de fichas:

- de campo — de pontos de águas superficiais;
  de poços e sondagens;
- de gabinete — de pontos de águas superficiais;
  de poços;
  de sondagens.

Para as fichas de gabinete passaram-se todos os dados colhidos e registados nas fichas de campo. Começou-se ainda, nos fins da década de 60 e a partir de inventário de todas as sondagens realizadas pelos serviços oficiais desde 1941, a registar nas fichas de gabinete os dados que não tinham sido captados e registados em fichas de campo.

Este modelo de Moçambique é um modelo de ficheiro clássico que ainda pode servir, devidamente adaptado e actualizado, em serviços que não disponham de meios modernos para criação duma base de dados (BD) adequada ao tratamento automático da informação. Aliás a sua adaptação a condições mais actuais de registo pode realizar-se justamente no sentido da sua possível utilização como futuro "input" de BD automatizado.

Como modelos de sistemas automatizados de BD podem citar-se [6, 1981]:

- BSS — Banque de Donnés du Sous-Sol, desenvolvido pelo BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières);
- MWDI — Master Water Data Index, depedente do USGS (United States Geological Survey);
- GIMMAP — desenvolvido pelo BRGM para informação existente sob a forma gráfica.

A realização da cartografia hidrogeológica nas escalas acima referidas tem por finalidade:

- reunir a informação pertinente relativa a clima, hidrologia superficial, morfologia, vegetação, população e gados, infraestrutura e actividade económica;
- compilar todos os dados existentes sobre a

logia, com especial ênfase para a litologia e estrutura das diferentes unidades presentes;

- relacionar a fracção infiltrada do balanço hidrológico com os fenómenos hidrogeológicos observados — bacias de captação, toalha freática, toalhas cativas, exutórios, escoamento, etc.;
- estudar o quimismo das águas subterrâneas, relacioná-lo com as formações em que circula e indicar como condiciona a utilização das mesmas águas;
- calcular o potencial aquífero subterrâneo, as reservas exploráveis e os parâmetros hidrogeológicos em que se baseia a economia das captações.

A execução dum programa de planeamento regional fornece assim o enquadramento geral em que se podem planear e executar acções concretas de aproveitamento das reservas aquíferas subterrâneas exploráveis que é, em última análise, a razão de ser de tudo o que antecede.

5. PLANEAMENTO LOCAL

Em geral os conhecimentos resultantes da cartografia hidrogeológica nas escalas anteriormente mencionadas não são suficientes para resolução dos problemas que envolve a exploração intensiva dum aquífero. Para este efeito há que baixar a escalas de 1:100.000, 1:50.000, 1:20.000, ou menos, conforme a natureza dos problemas hidrogeológicos a resolver e a demanda de água de origem subterrânea.

Outros problemas que as acções de planeamento regional não resolvem e que necessitam de cartografia de detalhe são, por exemplo: a implantação de obras de captação nas rochas cristalinas; o estudo e execução de sistemas integrados de exploração de recursos hídricos superficiais e subterrâneos (pequenas barragens e chimpacas de retenção; pequenas barragens de recarga de aquíferos; captações de recursos superficiais e subterrâneos associados; etc.); localização da interface e exploração das reservas na sua proximidade; delimitação e quantificação de reservas fósseis; etc.

No planeamento local utiliza-se a mesma tecnologia de inventário e cartografia que no planeamento regional, esta devidamente adaptada à escala de trabalho, acrescida de meios específicos como sejam os aerofotográficos (p.ex.: identificação e localização de falhas em rochas cristalinas), os geofísicos (p. ex.: eléctricos de resistividade para localização da interface, da posição de zonas de meteorização associadas a falhas nas rochas cristalinas, etc.), os geoquímicos (p. ex.: no estudo da circulação cárstica), etc.

A experiência de planeamento a nível local no SW de Angola durante mais de duas décadas foi muito extensa e profunda. Tratando-se de região árida e semiárida incluindo ambientes geológicos de diversa natureza, ali se aplicaram diversos métodos geológicos, hidrogeológicos e geofísicos na definição de níveis aquíferos e estruturas de controle da circulação subterrânea. Também se utilizou diverso material de pesquisa e captação e se coordenaram métodos que permitiram a montagem de sistemas integrados de captação de águas superficiais e subterrâneas, e de recarga de aquíferos. Pode dizer-se sobre esta experiência que ela é modelar para qualquer região de características semelhantes, no todo ou em qualquer das suas partes. A extensão da experiência é tal que o seu resumo, por pequeno que seja, excede o âmbito deste trabalho, pelo que se remete o leitor para a peça de literatura técnica publicada que melhor a descreve, embora escrita uma década antes de terminada [7, 1965].

Da experiência em Moçambique, por menos duradoura, pode aqui resumir-se a parte em que o planeamento local e sua execução atingiu fase de obtenção de resultados. Na região do Sul do Save, estudada na década de 60 [2, 1962], foi na década de 70 levado a cabo um plano a nível local, entre os rios Limpopo e Save, com o objectivo de definir o controlo de aquíferos "doces" em região de predominância de águas subterrâneas salgadas. A fotointerpretação (escala 1:40.000) permitiu definir, em monótono e pouco espesso fundo arenoso e areno-argiloso de cobertura dos grés terciários, impregnados de águas altamente salinas, a existência duma rede hidrográfica antiga a que se associam aluviões grosseiros com algumas dezenas de metros de possança impregnados de água de baixa salinidade. A utilização de métodos geofísicos de resistividade permitiu delimitar estes aluviões e fornecer critério para a localização de furos de pesquisa e de captação, que por sua vez permitiram a fixação de gados onde simultaneamente existiam pastagens de execelente qualidade [8, 1977].

Poderia aqui multiplicar-se a descrição sumária de experiências de planeamento local. Para não alongar demasiadamente o capítulo, citam-se somente mais três:

- Arquipélago de Cabo Verde — região árida de subsolo predominantemente vulcânico — Planeamento relacionado com a obtenção de água para abastecimento rural doméstico e agrícola [2, 1969, 1972, 1973];
- Maputo (ex-Lourenço Marques) e Arredores, Moçambique — região de pluviosidade bastante elevada, de subsolo arenoso e gresoso, junto à costa, com problemas de interface — Estudo a integrar em planeamento para abastecimento urbano e sub-urbano [3, 1962, b];
- Península de Setúbal, Portugal — região de pluviosidade bastante elevada, de subsolo argilo-calcáreo detrítico mio-plio-quaternário, com problemas de abastecimento urbano e industrial — Estudo integrado com o de abastecimento por meio